

YAYINCI
PUBLISHER



MÜHENDİSLİK BİLİMLERİ ve TASARIM DERGİSİ

**JOURNAL OF ENGINEERING
SCIENCES AND DESIGN**

e-ISSN: 1308-6693

Cilt/Volume: 11 **Sayı/Issue: 4 Aralık/December 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

Caglayan 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

Turgay AYDOĞAN

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 / Research

Sayfa / Pages

- [1. YÜKLENİCİ İNŞAAT FİRMALARINDA KURUMSAL RİSK YÖNETİMİNİN PERFORMANS RİSKİNE ETKİSİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA](#)
Aynur KAZAZ Ali Evren İMRE* 1228-1244
- [2. ABRASION RESISTANCE PREDICTION OF TRUE MARBLES USING CHEMICAL COMPOSITION DATA: A NEW APPROACH](#)
Nurdan GÜNEŞ* R. Mete GÖKTAN 1245-1256
- [3. A NEW RATIONAL CLASSIFICATION APPROACH BY THE NEW MIXED DATA BINARIZATION METHOD](#)
Muhammed SÜTÇÜ* İbrahim Tümay GÜLBAHAR 1257-1269
- [4. AN OPTIMIZATION STUDY ON THE SUCCESS OF THE 3-POINT SHOOTING IN BASKETBALL](#)
Hasbi KIZILHAN* 1270-1281
- [5. L TİPİ MATRİS YÖNTEMİ VE AHP YÖNTEMİ KULLANILARAK RİSKLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ: ÖRNEK BİR UYGULAMA](#)
Onur DOĞAN* Mustafa Özgür KESKİN 1282-1293
- [6. Q-ROF TOPSIS VE Q-ROF COCOSO YÖNTEMLERİYLE PETROL İSTASYONU YER SEÇİMİ](#)
Birsen İrem SELAMOĞLU* 1294-1309

- [7. DİSLEKSİ VE DİSGRAFİ OLAN ÇOCUKLARIN OKUMA SIRASINDA BEYİN AKTİVİTELERİNİN FONKSİYONEL MR PSİKOFİZYOLOJİK ETKİLEŞİM ANALİZİ İLE İNCELENMESİ](#) 1310-1327
Gizem RÜVEYDA SAĞIR Semra İÇER*
- [8. LHD İŞ MAKİNELERİNİN ÜRETİM KAPASİTELERİNİN C++ PROGRAMLAMA DİLİ İLE HESAPLANMASI](#) 1328-1334
Eren YURDAKUL* Cihan DOĞRUÖZ
- [9. A COURSE TIMETABLING FORMULATION UNDER PANDEMIC CONSIDERATIONS](#) 1335-1347
M. Edib GÜRKAN* Ahmet Bahadır ŞİMŞEK
- [10. BİR OLUKLU MUKAVVA İŞLETMESİNDE REGRESYON ANALİZİ İLE MAKİNE İŞLEM SÜRELERİNİN TAHMİN EDİLMESİ](#) 1348-1364
Ozan ÇAPRAZ* Gülşah ALTAY Olca POLAT
- [11. AHŞAP HAM MADDELERDE YÜZEY HATASINI BELİRLEMEK İÇİN GÖRÜNTÜ İŞLEME TABANLI KALİTE KONTROL SİSTEMİ](#) 1365-1382
Yaren ÇELİK* Berna DENGİZ Selda GÜNEY
- [12. A CASE STUDY FOR PREVENTING ELECTRICITY OVER-CONSUMPTION USING DEEP LEARNING IN TEXTILE INDUSTRY](#) 1383-1397
Hakan YURDOĞLU Ömer GÜLEÇ*
- [13. AN INTEGRATED FUZZY MCDM MODEL FOR HOTEL WEBSITE EVALUATION](#) 1398-1409
Dilek AKBURAK* Mert AKBAŞ
- [14. BEKLENEN İSTANBUL DEPREMİNİN İSTANBUL EKONOMİSİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ: BİR SİSTEM DİNAMİĞİ MODELİ](#) 1410-1423
Çağla ALPARSLAN* Müjgan Bilge ERİŞ Melis Almula KARADAYI Ayla ALKAN Duygun Fatih DEMİREL Eylül SEZER

- [15. NANO VE MİKRO TOZ MALZEMELERLE ÜRETİLEN YÜKSEK ISI YALITIM PERFORMANSLI VAKUM YALITIM PANELİ ÇEKİRDEKLERİNİN FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİ](#) 1424-1438
Ali Ekrem AKDAĞ* Metin DAVRAZ Kamil DELİKANLI
- [16. JEOİSTATİSTİK VE COĞRAFI BİLGİ SİSTEM \(CBS\) TEKNİKLERİ KULLANILARAK ERZİN OVASI \(HATAY\) TOPRAKLARININ BAZI BESİN ELEMENT İÇERİKLERİNİN YERSEL DEĞİŞİMLERİNİN HARİTALANMASI](#) 1439-1451
Necat AĞCA* Mehmet Selçuk COŞAR
- [17. FORCE BASED IMPEDANCE CONTROL OF 5-BAR PARALLEL ROBOT MANIPULATOR](#) 1452-1460
Eray YILMAZLAR*
- [18. GETİRİ ÖNGÖRÜLEBİLİRLİĞİNİ ÖĞRENMEYE YÖNELİK BİR SİMÜLASYON YAKLAŞIMI İLE PORTFÖY OPTİMİZASYONU: BORSA İSTANBUL UYGULAMASI](#) 1461-1474
Hasan AKYER*
- [19. POLİMER BAĞLAYICILI HAFİF BETONLARIN FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI](#) 1475-1485
Ali Nadi KAPLAN* Cengiz ÖZEL
- [20. BAZALTLARDA ISIL İLETKENLİK VE ISI DEPOLAMADA OLİVİNİN SERPANTİNLEŞMESİNİN ETKİSİ](#) 1486-1495
Erdoğan TİMURKAYNAK* Kadir KARAMAN Hasan KOLAYLI Yaşar ÇAKIR
- [21. MODELING THE BENDING BEHAVIOR OF STEEL FIBER-REINFORCED CONCRETE BEAMS](#) 1496-1507
Mehmet Alper ÇANKAYA*
- [22. ANN BASED EARLY DETECTION OF ALZHEIMER DISEASE ON SELECTED FEATURES](#) 1508-1516
Seyit Gazi YILDIZ Kazım YILDIZ*

[23. AÇIK UÇLU ÇOKLU GEZGİN SATICI PROBLEMİ VE BİR ÇÖZÜM ÖNERİSİ](#)

[Zühal KARTAL*](#)

1517-1528

[24. FARKLI YETİŞTİRME YÖNTEMLERİNİN NATÜREL VE KAVRULMUŞ
FINDIKLARIN AĞIR METAL, HMF VE AKRİLAMİD DÜZEYLERİNE ETKİSİ](#)

[Hasan KARAOSMANOĞLU*](#)

1529-1538

[25. An EXPERIMENTAL STUDY ON DIELECTRIC PARAMETERS OF XLPE
INSULATED HIGH VOLTAGE CABLES UNDER DIFFERENT OPERATING
CONDITIONS](#)

[Celal Fadil KUMRU*](#) [Celal KOCATEPE](#)

1539-1553

[26. VPAPM İLETİM YÖNTEMİNİN BER PERFORMANSI](#)

[Süleyman BÖREKOĞLU](#) [Mehmet SONMEZ](#)

1554-1567

[27. PRACTICALLY COMPARISON OF SOME MECHANICAL STANDARD TEST
METHODS FOR LEATHER AND TEXTILE](#)

[Nilay ÖRK EFENDİOĞLU*](#) [Emrah TEMEL](#)

1568-1579

[28. CNC KESİM MAKİNESİ ANA HAREKET SİSTEMİNİN SARSMA
KUVVETLERİNİN AZALTIMASI VE BAĞLANTI ÇUBUĞUNUN YAPISAL ANALİZİ](#)

[Gürcan ATAKÖK*](#) [Sezgin BALCI](#)

1580-1593

[29. ATIK BİTKİ POSALARINDAN ELDE EDİLEN DOĞAL BOYARMADDE İLE YÜN
BOYAMA](#)

[Enfal KAYAHAN*](#) [Mustafa KARABOYACI](#) [Mehmet DAYIK](#)

1594-1606

[30. ALANYA \(ANTALYA\) ALT HAVZASI YERALTISULARININ HİDRO-KİMYASI VE
KULLANIM ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ](#)

[Arzu ER Şehnaz ŞENER*](#)

1607-1623



YÜKLENİCİ İNŞAAT FİRMALARINDA KURUMSAL RİSK YÖNETİMİNİN PERFORMANS RİSKİNE ETKİSİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA

Aynur KAZAZ¹, Ali Evren İMRE^{1*}

¹Akdeniz Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 07058 Antalya, Türkiye

Anahtar Kelimeler

İnşaat Sektörü,
Kurumsal Risk Yönetimi,
Proaktif Yönetim,
Proje Yönetimi,
Performans Riski.

Özet

İnşaat sektöründeki yüklenici firmalar, kurumsallaşma eksikliklerinin giderilmesi için sürekli bir değişim ve gelişim içinde olmak zorundadırlar. Sektörden bağımsız büyük ya da küçük ölçekli kurumsal yönetim anlayışına sahip her kuruluş, iş yaşamında varlığını sürdürebilmek adına kendilerine bir yönetim modeli belirlemektedirler. Bu modellerden en yaygın kullanımına örnek olarak; iç kontrol ve kurumsal risk yönetimi ile birlikte risk esaslı proaktif yönetim modeli gösterilebilir. “Kurumsal Risk Yönetimi – (KRY)” risk yönetim sürecine yönelik bütüncül bir yaklaşıma haiz olarak, iş süreçlerinin verimli ve etkin bir şekilde yönetilmesine olanak sağlamaktadır. Sürekli bir devinim içinde olması nedeniyle dinamik unsurların etkin olduğu yapım sektöründe, giderek daha karmaşık hale gelen projelerde maliyet, kalite ve süre unsurlarının arzu edilen sonuçlar vermesini sağlamak için bütüncül ve sistematik yönetim yaklaşımlarının uygulanması gerekmektedir. Bu bağlamda, bu çalışmanın temel amacı, yüklenici inşaat firmalarında iç kontrol ve KRY'nin firma süreçlerine etkisinin değerlendirilmesidir. Bu amaç doğrultusunda, Yüklenici İnşaat Firmalarında İç Kontrol ve KRY sisteminin uygulanması için Web tabanlı “Ortak Proje Yönetim Portalı” (OPYP) geliştirilmiştir. Çalışma kapsamında, OPYP'nin vaka çalışması olarak ele alınan projeler üzerinden firma süreçlerine olan etkisi değerlendirilmiştir. Bu çalışma ile yüklenici inşaat firmalarında KRY ye ilişkin kavramsal çerçeveyi irdeleyerek, çözüm önerileri geliştirmeye ve gelecek çalışmalara temel oluşturmaya çalışılmıştır.

A STUDY ON THE IMPACT OF ENTERPRISE RISK MANAGEMENT ON PERFORMANCE RISK IN CONTRACTOR CONSTRUCTION COMPANIES

Keywords

Construction industry,
Enterprise Risk Management,
Proactive Management,
Project Management,
Performance Risk.

Abstract

Contractor companies in the construction sector have to be in a constant change and development in order to eliminate the institutionalization deficiencies. Regardless of the sector, every organization, large or small, with a corporate governance approach, needs to adopt a management model in order to continue its existence in business life. Among these models, the risk-based proactive management model, together with internal control and enterprise risk management, can be cited as an example of its most common use. Enterprise risk management (ERM), which handles the risk management process with a holistic approach, enables efficient business processes to be carried out. In the constantly developing construction sector, systematic and holistic management approaches must be adopted in order to successfully achieve the time, cost and quality objects of complex construction projects. In this context, the main purpose of this study is to evaluate the effects of internal control and enterprise risk management on the business processes of contractor construction companies. For this purpose, a Web-based “Joint Project Management Portal” (JPMP) has been developed for the implementation of Internal Control and Enterprise Risk Management (ERM) system in Contractor Construction companies. Within the scope of the study, the effect of JPMP on the business processes of the contractor construction companies was evaluated through the projects considered as case studies. This study focuses on developing solution proposals and forming basis for future studies by examining the conceptual framework regarding ERM in contractor construction companies.

Alıntı / Cite

Kazaz, A., İmre, A.E. (2023). Yüklenici İnşaat Firmalarında Kurumsal Risk Yönetiminin Performans Riskine Etkisi Üzerine Bir Araştırma Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(4), 1228-1244.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

A. KAZAZ, 0000-0001-7926-7178
A.E. İMRE, 0000-0002-1351-8621

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date 16.03.2023
Revizyon Tarihi / Revision Date 30.03.2023

* İlgili yazar/Corresponding author: alievren@gmail.com, +90-242-310 63 00

Kabul Tarihi / Accepted Date	04.05.2023
Yayın Tarihi / Published Date	30.12.2023

A STUDY ON THE IMPACT OF ENTERPRISE RISK MANAGEMENT ON PERFORMANCE RISK IN CONTRACTOR CONSTRUCTION COMPANIES

Aynur Kazaz¹, Ali Evren İmre^{1†},

¹ Akdeniz Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 07058 Antalya, Türkiye

Highlights

- The impact of enterprise risk management on firm performance risk in contractor construction companies
- Enterprise risk management for a transition to proactive management in contractor construction companies
- The importance of the conceptual framework of Enterprise Risk Management system in Web-based software "Joint Project Management Portal" for Contractor Construction companies.

Graphical Abstract

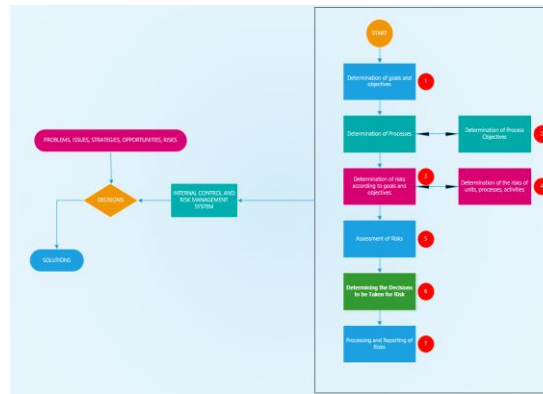


Figure 1. Proposed Enterprise Risk Management Model

Purpose and Scope

The main purpose of this study is to evaluate the effects of enterprise risk management on the performance risks of contractor construction companies. For this purpose, a Web-based "Joint Project Management Portal" has been developed for the implementation of Enterprise Risk Management system in Contractor Construction Companies

Design/methodology/approach

This study is providing a conceptual model by Joint Project Management Portal of enterprise risk management system integration in construction companies by case study method. Four Projects with Controls and uncontrolled Performance Risk numbers compared. and the contribution of using the model was measured by the Monte Carlo analysis method.

Findings

It has been measured that the number of performance risks of the projects decreased after using the Joint Project Management Portal.

Research limitations/implications (if applicable)

Applied in Turkish construction company.

Practical implications (if applicable)

The proposed ERM model can be implemented easily in contractor construction companies by Joint Project Portal. It can be applied practically.

Social Implications (if applicable)

The qualifications of Contractor Construction Companies will increase.

Originality

† İlgili yazar/Corresponding author: alievren@gmail.com, +90-242-310 63 00

ERM implementation in construction industry will become widespread by using Joint Project Portal.

1. Giriş (Introduction)

2017 yılında, COSO (The Committee of Sponsoring Organizations) olarak bilinen kuruluşun ortaya koyduğu "Kurumsal Risk Yönetim Sistemi", uygun stratejilerin oluşturularak kurum kapsamında uygulanması, kurumu etkileme riski olan durumların belirlenmesi, belirlenen bu risklerin "risk iştahı" kapsamında yönetilmesi ve böylece kurumun hedeflerine ulaşılmasına yönelik etki eden bir süreç olarak belirlenmiştir. 1995 yılından bu güne değin konuya ilişkin olarak yapılan tanımlamalarda "Kurumsal Risk Yönetimi (KRY)"nin stratejik amaç ve hedeflere ulaşmadaki rolüne, maliyet planlamalarına ve risk analiz süreçlerindeki etkisine, firma ve paydaş değerleri üzerindeki etkisine ve bütüncül bir yaklaşım oluşuna vurgu yapılmıştır (COSO,2017). Söz konusu COSO modelinin tanımı, "Kurumsal Risk Yönetim Sistemi (KRY)"nin en kapsamlı ifadesi olarak nitelendirilebilir, bu bağlamda "Kurumsal Risk Yönetim Sistemi (KRY)", 'organizasyonun değer yaratma, koruma ve realize etmede, riski yönetmek için güvenebilecekleri, stratejinin belirlenmesi ve yürütülmesine entegre edilen, kültür, imkân ve uygulamalardır" şeklinde tanımlanmıştır.

KRY ile risklerin olumsuz etkilerinden korumayı amaçlayan risk yönetimi terk edilerek yerine firma stratejisinin bir parçası olan, karar mekanizmalarına destek sağlayan bütünsel olarak tüm işletme seviyesinde uygulanan kurumsal risk yönetimi kullanılmaya başlanmıştır (Soltanzadeh vd. , 2014). KRY'nin sunduğu bütüncül yaklaşımla; öncelikle firmanın kurumsal ve proje riskleri belirlenmekte, bununla birlikte risk iştahı göz önüne alınarak risk önleyici faaliyetler geliştirilip, karar verme mekanizmalarını destekleyecek kurum risk kültürü oluşturulduğu belirtilmiştir.

Bu çalışmanın ana hipotezi, yüklenici inşaat firmalarında iç kontrol ve kurumsal risk yönetim sisteminin uygulanmasının firma süreç hedeflerinin gerçekleşmesine olumlu etki edeceğidir. Bu bağlamda, Yüklenici İnşaat Firmalarında İç Kontrol ve Kurumsal Risk Yönetimi sisteminin uygulanması için "Ortak Proje Yönetim Portalı" (OPYP) geliştirilmiştir. Yüklenici İnşaat firmalarında İç Kontrol ve Kurumsal Risk Yönetim modelinin uygulanması için bir araç olan OPYP ile gerçek projeler üzerinde çalışma yapılarak firma süreçlerine etkileri değerlendirilmiştir.

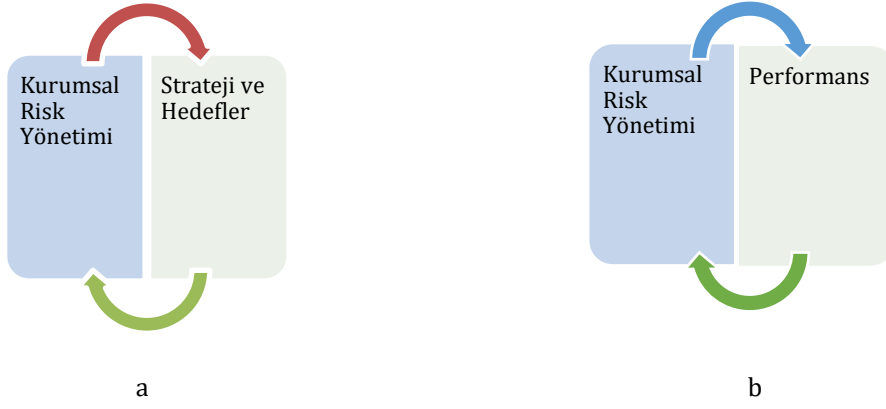
2. Kaynak Araştırması (Literature Review)

2.1. Kurumsal Risk Yönetimi Yaklaşımı (Enterprise Risk Management Approach)

Risk yönetimi, projedeki bütün risklerin tanımlanması, etkilerinin ortaya konulması, risklere yönelik önlemlerin alınması süreçlerini kapsamaktadır (Memioğlu, 2020).

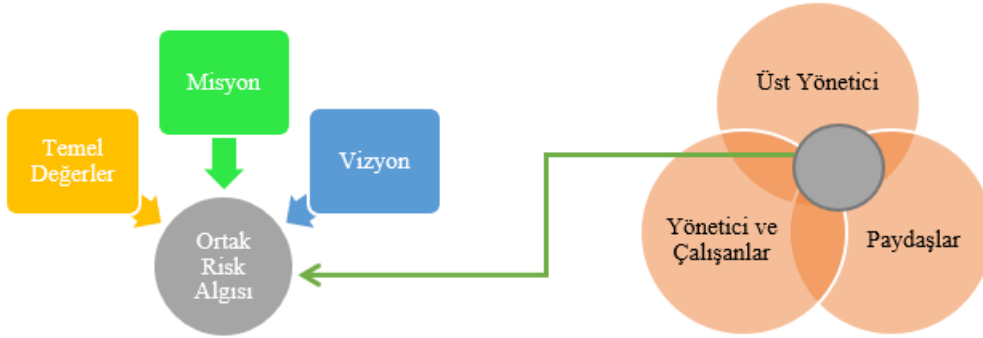
Literatürdeki birçok çalışmada; "Kurumsal Risk Yönetim Sistemi (KRY)", kuruluşlar tarafından stratejik amaç ve hedeflerin gerçekleştirilmesine yönelik olay ve/veya durumların gerçekleşme olasılığını, diğer bir ifadeyle bahse konu olay/durumların gerçekleşmesi halinde ortaya çıkması muhtemel zararların azaltılması veya ihtimal dahilinde ortaya çıkan fırsatların etkin bir şekilde değerlendirilmesi için kapsamlı ve sistematik bir yaklaşım olarak ele alınmıştır. Gordon vd. (2010) ile Mc George ve Zhou'ya (2013) göre; firma stratejisinin bir parçası olan KRY'nin, firmanın riske dayalı karar mekanizmalarını özümsemesini sağlayarak risk yönetim sürecini güçlendirdiği belirtilmektedir.

Kurumsal risk yönetimi modeli stratejik yönetim, performans yönetimi ve risk yönetimi yaklaşımın sentezi olan bir anlayış biçimidir. Kurumsal risk yönetimi, kurumun doğru strateji belirlemede ve stratejik amaç ve hedeflere etkin bir şekilde ulaşmasında önemli bir araçtır. Kurumsal risk yönetimi ile stratejik planlama ilişkisi Şekil 1'de ayrı ayrı gösterilmektedir.



Şekil 1. a) KRY-Stratejik Planlama İlişkisi (ERM-Strategic Planning Relationship)
b) KRY-Performans Yönetimi İlişkisi (ERM-Performance Management Relationship)

Kurum veya kuruluşların misyonu, vizyonu ve temel değerleri kurum kültürüne dönüşerek, kurum çalışanlarının riske yaklaşımını belirlemektedir. Tüm bu faktörler kurumun risk algı seviyesini, ortak risk algısının varlığını, özetle kurumun risk kültürünü etkilemektedirler. Bu bağlamda, kurumun stratejik amaç ve hedeflerini belirlemede ve bu hedeflere ulaşmada izleyeceği yol ise kurumsal risk yönetimi yaklaşımını etkilemektedir. Ortak risk algısının gelişmesine etki eden faktörler ve yönetsel unsurlar arasındaki ilişki Şekil 2’de görülmektedir.



Şekil 2. KRY-Yönetişim ve Kültür İlişkisi (ERM-Governance and Culture Relationship)

Ülkeler ve sektörlerden bağımsız olarak, risk yönetimi kavramını sistematikleştirmek açısından kılavuzlar ve çerçeve model dokümanların önemi yadsınamaz bir gerçektir. Uluslararası kılavuzlar ve çerçeve modelleri, risk yönetim sisteminin oluşturulmasına temel seviyede rehberlik etmektedir. Bununla beraber genel olarak kabul görmüş çerçeve modelleri ve standartların yeni yaklaşımlarla geliştirilmesinin kısıtlanmaması gerektiği değerlendirilmiştir (Kıral,2017).

Kurumsal risk yönetimi uygulamalarını tanımlamak ve geliştirmek, kurumlarda ortak risk algısının ve kültürünün oluşmasına katkı sağlamak üzere, bir anlamda yönlendirici rehberler olarak uluslararası standart ve çerçeve modelleri oluşturulmuştur. Kurumsal risk yönetiminde kuruluşların izleyeceği süreçler kapsamında bir çerçeve oluşturan bu rehberler zaman içerisinde “Kurumsal Risk Yönetim Sistemi” yaklaşımının tanınması uygulanması ve yaygınlaşmasında önemli bir işlev kazanmıştır. Kurumsal risk yönetimi kapsamında oluşturulan uluslararası standart ve çerçeve modellerinin ortak noktası, bu modeller dahilinde ortaya konulan süreçlerin farklı yapılarıdaki kuruluşlarda uygulanmasını mümkün kılan genel ilkelere sahip olmalarıdır. Bu çerçeve modeller, “Kurumsal Risk Yönetim Sistemi” anlayışının gelişmesiyle birlikte, risk yönetimine yönelik genel çerçeve sunan ilkelerin yer aldığı yaklaşımlar; COSO Kurumsal Risk Yönetimi Çerçevesi, ISO 31000 Risk Yönetimi Prensipler ve Kılavuzlar, AS/NZS 4360 Risk Yönetim Süreci Avustralya/Yeni Zelanda Risk Yönetim Standardı vb. şeklinde ortaya çıkmıştır. Bu çerçeve modellerinden biri olan COSO modelinde “Kurumsal Risk Yönetim Sistemi”; ‘organizasyonun değer yaratma, koruma ve realize etmede, riski yönetmek için güvенеbilecekleri, stratejinin belirlenmesi ve yürütülmesine entegre edilen, kültür, imkân ve uygulamalar’ şeklinde tanımlanmıştır (COSO,2017).

COSO 2017 Kurumsal Risk Yönetimi çerçeve modelinde, bütünleşik KRY’nin tesis edilmesi için stratejik planlama süreçlerine ihtiyaç duyulduğu vurgulanmaktadır. Yeni düzenlemenin “performans” ve “bütüncül strateji” vurguları, işletmelerin hedeflerine ulaşma amaçları ile günlük operasyonlar arasındaki ilişki ortaya koyulmaktadır. COSO’nun KRY 2017 düzenlemesi Şekil 3’de gösterilmektedir. Yeni düzenlemenin “performans” ve

“bütüncül strateji” vurguları, işletmelerin hedeflerine ulaşma amaçları ile günlük operasyonlar arasındaki ilişki irdelenmektedir (Prewett ve Terry,2018).



Şekil 3. COSO Kurumsal Risk Yönetimi Sarmalı (COSO Enterprise Risk Management Helicase)

COSO KRY çerçevesi, kullanıcılara 5 gereksinim ile bütüncül bir KRY yapısı oluşturulmasına imkân vermektedir. Söz konusu 5 gereksinim ve gereksinimlere ait 20 eylem Tablo 1’de gösterilmektedir (Burca,2018).

Tablo 1. COSO Kurumsal Risk Yönetimi Yapısına Gereksinimler ve Eylemler (Requirements and Actions to the COSO Enterprise Risk Management Structure)

COSO Kurumsal Risk Yönetimi Yapısına Ait Gereksinimler ve Eylemler	
Gereksinimler	Eylemler
1 Yönetişim ve Kültür	<i>Yönetim kurulunun risk gözetimini uygulaması</i> <i>Operasyonel yapının oluşturulması</i> <i>İstenen/Arzu edilen kültür yapısının tanımlanması</i> <i>Temel değerlere olan bağlılığı gösterme</i> <i>Kabiliyetli Personeli kazanma, geliştirme ve elde tutma</i>
2 Strateji ve Hedef Belirleme	<i>İş ortamını/içeriğini analiz etme</i> <i>Risk iştahının tanımlanması/belirlenmesi</i> <i>Alternatif stratejileri değerlendirme</i> <i>İş hedeflerini oluşturma</i>
3 Performans	<i>Risklerin tanımlanması/belirlenmesi</i> <i>Risk şiddetlerinin değerlendirilmesi</i> <i>Risklerin önceliklendirilmesi /derecelendirilmesi</i> <i>Risk tutumlarının/yanıtlarının uygulanması</i> <i>Bütüncül ve geniş bir akış açısının geliştirilmesi</i>
4 Gözden Geçirme ve Düzenleme	<i>Önemli/Yapısal değişiklikleri değerlendirme</i> <i>Risk ve Performansı gözden geçirme</i> <i>KRY ile ilgili gelişim/değişimleri takip etme</i>
5 Bilgi, İletişim ve Raporlama	<i>Bilgi Yönetim Sisteminin güçlendirilmesi</i> <i>Riske ilişkin bilginin iletilmesi/paylaşılması</i> <i>Risk, risk kültürü ve performans ile ilgili raporlama yapmak</i>

Yukarıda yer alan “COSO Kurumsal Risk Yönetimi Yapısına Ait Gereksinimler ve Eylemler” olarak tanımlanan modelde 5 ana başlıkta tanımlanan gereksinimlerin ilki “yönetişim ve kültür” şeklinde belirlenmiştir ve bu gereksinim kurumsal risk yönetiminde belirlenen diğer tüm unsurlarının temelini oluşturur. “COSO Kurumsal Risk Yönetimi Yapısına Ait Gereksinimler ve Eylemler” de belirlenen ikinci gereksinim olan “Strateji ve Hedef Belirleme” de strateji planlama sürecini kapsar ve kurumsal risk yönetimi, strateji ve hedef belirlemeyle birlikte hareket eder, böylece stratejiyle uyumlu bir risk iştahı belirlenir. “Performans” gereksinimi kapsamında , strateji ve iş hedeflerine ulaşmayı etkileyebilecek riskler belirlenerek değerlendirilmelidir. Dördüncü sırada yer alan “Gözden Geçirme ve Düzenleme” gereksiniminde önemli değişimler ışığı altında, hedeflere göre performansın nasıl sonuçlandığı, kurumsal yönetim uygulamalarının iyi çalışıp çalışmadığı, kuruma değer katıp katmadığı, değer

katmaya devam edip etmediği ve düzeltilmesi gereken hususlar bulunup bulunmadığı gözden geçirilir. Beşinci ve son sırada yer alan “Bilgi, İletişim ve Raporlama” gereksiniminde ise bilginin elde edilmesi, kurum genelinde paylaşılması ve ilgili raporların yazılması hususlarını içeren ve tekrar eden bir süreçtir.

Bu bağlamda 2017 yılı COSO “Kurumsal Risk Yönetim Sistemi” tanımında risk yönetiminin temel amacının değerler oluşturmak, korumak ve gerçekleştirmek olduğu, bu amaçla oluşturulan değerlerin stratejilerin belirlenmesi ve yürütülmesine hususlarıyla entegre edilmesi gerektiği ifade edilmiştir. “Kurumsal Risk Yönetim Sistemi”nin sadece, değer düşmesini önlemeye ve risklerin kabul edilebilir seviyeye indirilmesine odaklanmadığı, strateji belirlemeyle bütünleşik olarak, değer artırılması ve sürdürülmesi için fırsatların oluşturulmasına da yardımcı olacağı belirtilmektedir.

2.2. İnşaat Sektöründe Kurumsal Risk Yönetimi (*Enterprise Risk Management in The Construction Sector*)

İnşaat sektöründe artan rekabet ortamı nedeniyle yüklenici inşaat firmalarının; stratejik yönetim, risk yönetimi, iç denetim ve sistem iyileştirme stratejileri ile birlikte proaktif bir anlayışla yönetilmesi gerekmektedir. Birçok yazar tarafından süre, maliyet ve kalite açısından proje hedeflerine ulaşmak için kuruluşların bir risk yönetimi uygulamak zorunda olduğuna dikkat çekilmiştir. İnşaat sektörü proje bazlı bir sektör olup, ürün benzersizliği, yerinde nispeten yüksek devir oranlarına sahip üretim ve geçici olması sektörün tipik özelliklerindedir (Gordon vd,2009).

Yapım projelerinde süre, maliyet ve kalite hedefleri doğrultusunda risklerle karşılaşılması kaçınılmazdır. Ancak, bu hedeflere ulaşılması için risk yönetim faaliyetleri birçok firma tarafından proje düzeyinde ele alınmaktadır. Farklı sektörlerde yasal zorunluluklar sebebi ile kullanılan kurumsal risk yönetim sisteminin, Türkiye inşaat sektöründe henüz uygulama zorunluluğu bulunmamaktadır. Yapım işlerinde proje bazlı risk yönetimi konusunda çalışmalar yapılmasına rağmen, yüklenici inşaat firmalarının yönetsel süreçleri ile proje yönetim süreçlerini bir bütün olarak ele alan KRY yaygın olarak uygulanmamaktadır (Ercan ve Arı, 2020). Mevcut çalışmaların proje risk yönetimine veya kurumsal risk yönetimine yönelik ortaya konulduğu görülmektedir. KRY'nin proje riskini kontrol ederek proje risk yönetim yeteneğini ve performansını geliştirebileceğini göstermektedir (Liu vd, 2013).

İnşaat sektöründe KRY anlayışı yaygınlaşma eğilimindedir. Literatürde inşaat sektöründe kurumsal risk yönetimine ilişkin çalışmalarda, inşaat şirketlerinde kurumsal risk yönetimi uygunluğunu değerlendiren ve geliştiren bilgi tabanlı sistem hakkında çalışmalara rastlanmaktadır (Zhao vd,2015). Zhao vd. (2015) gerçekleştirdikleri bir diğer çalışmada inşaat sektörünün proje bazlı olmasına rağmen, risk yönetiminin hem proje hem de işletme seviyelerindeki riskleri kapsamaya gerektiği belirtilmiştir. Aynı çalışmada proje risk yönetimindeki aşırı vurgunun bazı sınırlamalara yol açacağı, bütünsel ve entegre bir risk yönetimi yaklaşımı olarak, modern portföy teorisi ile uyumlu olan KRY'nin, bir firmanın tüm risk portföyüyle ilgileneceği üzerinde durulmuştur. Tavakoli vd. (2014) tarafından yapılan çalışmada ise; COSO KRY model çerçevesi tarafından tanımlanan KRY'nin benimsenmesi ile firma performansı arasındaki ilişki ampirik olarak test edilmiştir. Yapılan bu çalışmadan elde edilen bulgulara göre; gelecekteki kurumsal riskleri yönetmenin en etkili yollarından birinin kuruluşlara ve iş dünyası liderlerine yeni bakış açıları sunulması gerektiği vurgulanmıştır. Serpell vd. (2015) göre, inşaat şirketlerinde risk yönetimi hakkında bilgi yetersizliği vardır. Bahse konu bilgi eksikliğine yönelik bir farkındalık yaratmak ve risk yönetimini mevcut boşlukları belirlemek suretiyle geliştirmeye yönelik uygulamaların ise sadece risk yönetimi konusundaki bilgi yönetimini sistematik olarak her projede gerçekleştirmek suretiyle mümkün olacağı vurgusu yapılmıştır.

Ching vd. (2021) tarafından yetersiz risk yönetimi ve risk kültürü eksikliği, bir şirketi risklere maruz bırakabileceği ve performansını olumsuz etkileyebilecek beklenmeyen risk olayları gerçekleşebileceği, Malezya kamu inşaat sektöründe yer alan firmaların kurumsal risk yönetimi ve risk kültürü boyutlarını ölçmeyi amaçlayan bir çalışma yapılmıştır. Callahan ve Soileau (2017) tarafından yapılan çalışmada, KRY süreçlerinin uygunluğuyla ilişkili gelişmiş işletim performansı için destek sağladığı ve KRY araştırmasının diğer potansiyel alanlarda da yapılması gerektiğini önerilmektedir. Florio ve Leoni (2017), (ERM) sistemlerinin uygulama kapsamı ile borsadaki İtalyan şirketlerinin performansı arasında bir ilişki olup olmadığı araştırılmış ve KRY nin firma performansına olumlu etkisi olduğu ortaya konulmuştur. Hristov vd. (2022) tarafından yapılan çalışmada Kurumsal Risk Yönetimi (ERM) ve Performans Yönetim Sistemi entegrasyonu (PMS), şirketlerde çevresel karmaşıklığı yönetmek için çok önemli bir süreç haline geldiği, şirketlerde Temel Risk Göstergeleri (KRI'lar) seti üzerine inşa edilmiş ERM ve PMS süreçlerini entegre etmeye geçiş ekonomik ve çevreye duyarlı performans elde etmelerini sağlayabileceği belirtilmektedir.

2.3. Ortak Proje Yönetim Portalı (Joint Project Management Portal)

Kurumların, dış çevresinde yer alan problemler, sorunlar, stratejiler ve fırsatlar ile ilgili olarak karar verilebilmesi ve çözümler üretilebilmesi için kurumsal risk yönetim sisteminin önemli bir etkisi olacağı değerlendirilmektedir. Bu amaçla, yüklenici inşaat firmalarında kurumsal risk yönetim sisteminin kurum kültürüne dönüşerek varlığını sürdürülebilmesi için kurumsal risk yönetim sistemi kavramsal modelini nesnelleştiren, karar destek sistemi olarak entegrasyonun yapılabilmesi, aynı zamanda etkin izleme ve değerlendirme imkânı sunan Şekil 4'te görülen Web tabanlı yazılım "Ortak Proje Yönetim Portalı" (OPYP) geliştirilmiştir. Bu doğrultuda, OPYP; yüklenici inşaat firmalarında kurumsal risk yönetimi aracı olarak organizasyon yönetimi, sözleşme yönetimi, süreç yönetimi, risk yönetimi, proje yönetimi, iç kontrol yönetimi ve son olarak performans yönetimi ana modüllerinden oluşmaktadır.



Şekil 4. Ortak Proje Yönetim Portalı Modülleri (Joint Project Management Portal Modules)

OPYP, 7 adet modülden oluşmaktadır. Modüllerden ilki olan organizasyon yönetimi modülünde, şirket organizasyon şeması, birim .org.şeması, birim görev tanımları, personel tablosu, iş görev tanımı, görev tanımları raporu, yetkiler, görev dağılımı, personel grupları tanımlanabilmektedir. Sözleşme yönetimi modülünde ise; yeni iş sözleşmesi, sözleşme onayları, doküman yönetimi tanımlanabilmektedir. Süreç yönetimi modülü, süreç belirleme, süreç kartları, süreç haritaları, süreç envanteri, iş akış şemalarını kapsamaktadır. Proje yönetimi modülü ise, proje ekibi, proje organizasyon şeması, proje iş paketleri, proje toplantıları, proje faaliyetleri, göstergeler, proje riskleri, gzf, edinilmiş dersler, iş bitim raporu, ara faaliyet raporlarından oluşmaktadır. Risk yönetimi modülünde, şirket risk modeli (risk türleri, risk etki tanımları, risk olasılık tanımları, risk seviye tanımları, risk iştah tanımları, seviye matrisi tanımları, kontrol otomasyon seviyesi, kontrol önem seviyesi, kontrol işlevsel ayırım, kontrol sıklığı, gelişim planı türleri), süreçler, risk haritaları (süreç risk haritası, birim risk haritası, proje risk haritası, şirket risk haritası), kontrol haritaları, risk eylem planı, toplantı tutanakları, gzf analizi ile ilgili çıktılar alınabilmektedir. İç kontrol yönetimi modülü, iç kontrol standartları ve iç kontrol eylem planı üzerinde düzenleme yapılmasına imkan vermekte olup; performans yönetimi modülünde ise, faaliyet raporları alınabilmekte ve performans göstergelerinin kontrolü sağlanabilmektedir.

Risklerin gerçekleşmesi halinde kurum üzerinde yaratacağı sonuçlar etki olarak; olasılık ise, bir olayın/durumun belli bir zaman dilimi içerisinde meydana gelme ihtimalini ifade edilmektedir. Doğal risk, kurum tarafından riske yönelik herhangi bir risk yönetimi faaliyeti uygulanmadan önceki risk seviyesi olarak, artık risk ise, kurum tarafından riskin etkisini ve/veya olasılığını azaltmak için yürütülen mevcut risk yönetimi faaliyetlerinden sonra kalan riskler ifade edilmektedir.

Yapılan çalışma kapsamında "Ortak Proje Yönetim Portalı"nda firma süreçlerine ilişkin riskler, aşağıda yer alan tablolarda belirtilen risk faktörleri ve olasılık kriterlerine göre değerlendirilecektir. Bu bağlamda etki seviyelerinden, 1 puan çok düşük, 5 puan ise çok yüksek tanımlanmaktadır. Değerlendirilen etki faktörleri ve puanlama kriterlerine ilişkin ayrıntılı bilgiler aşağıda yer almaktadır. Risklerin etki ve olasılıklarını belirlemek amacıyla yapılan puanlamada etki unsuru için 5 Çok Yüksek / 4 Yüksek / 3 Orta / 2 Düşük / 1 Çok Düşük olarak beş farklı seviyede tanımlama yapılmış ve durum Tablo 2'de açıklanmıştır.

Tablo 2. Kurumsal Risk Yönetim Modeli Risk etki Seviyesi ve Etki Kategorileri (Enterprise Risk Management Model Risk Impact Level and Impact Categories)

Etki Seviyesi	Etki Kategorisi	Açıklama
5	Çok Yüksek	Stratejik amaç ve hedeflere ulaşamaması, stratejik amaç ve hedeflerinden ciddi sapması, kurum tarafından sunulan hizmetlerde uzun süre kesinti olmasına yol açan olay veya durum.
4	Yüksek	Stratejik amaç ve hedeflerden önemli sapma olması, kurum tarafından sunulan hizmetlerde önemli süre duraksama olacak olay veya durum.
3	Orta	Stratejik amaç ve hedeflerden kabul edilebilir sapma, kurum tarafından sunulan hizmetlerden belirli süre kesinti olan olay veya durum.
2	Düşük	Stratejik amaç ve hedeflere ulaşamamasına düşük seviyede etkisi olacak olay veya durum.
1	Çok Düşük	Stratejik amaç ve hedeflere ulaşamamasına çok düşük gözlenemeyecek seviyede etkisi olacak olay veya durum.

OPYP’de etki değerlendirmesinde riskler, Mali (Finansal), Operasyonel (Performans), Yasal (Uyum), İtibar, Sosyal, Stratejik etki kriterleriyle ele alınabilmektedir. Kurumlar farklı etki kriterlerini de faaliyet alanlarına uygun olarak göz önünde bulundurabilirler. Etki kriterlerinin sınıflandırılması ve açıklaması Tablo 3’de yer almaktadır.

Tablo 3. Kurumsal Risk Yönetim Modeli Etki Kriterleri(Enterprise Risk Management Impact Criteria)

Etki Kriteri	Açıklama
Mali Etki	Hata, süreçlerdeki karmaşıklık, işlemlerin yoğunluğu, varlıklara yetkisiz erişim, yolsuzluk, varlıklara verilen zarar gibi nedenlerle varlıklarda (parasal veya aynı) oluşabilecek potansiyel kayıp
Yasal Etki	Tabi olunan mevzuata kasıtlı veya kasıtsız olarak uyulmamasından kaynaklanabilecek etki
İtibar Etkisi	Hata, ihmal, yolsuzluk, sahtekârlık meydana gelmesi, bilgi güvenliği ve gizliliğine uyulmaması durumlarında Kurum/kuruluş imaj ve itibarı üzerinde oluşabilecek olumsuz etki
Performans Etki	Potansiyel risklerin gerçekleşmesi halinde faaliyetlerin etkinliği ve verimliliği üzerinde oluşabilecek etki
Sosyal Etki	Toplumun ve hizmetlerden yararlananların can ve mal güvenliği, menfaat ve memnuniyet düzeyleri üzerindeki etki
Stratejik Etki	Kurumun stratejik amaç ve hedeflerine ulaşmasına etki

Risk değerlendirmesinde “1” en düşük etkiyi, “5” ise en yüksek etki değerini ifade etmektedir. Etki faktörleri ve puanlama kriterleri ile ilgili riskin gerçekleşmesi halinde kuruma yapacağı detaylı performans etki listesi de Tablo 4’de yer almaktadır.

Tablo 4. Kurumsal Risk Yönetim Modeli Performans Etki Kriterleri Puanlama Sınıflandırması (Enterprise Risk Management Model Performance Impact Criteria Scoring Classification)

Performans (Operasyonel) Etki	
Faaliyetlerin verimliliği, etkinliği ve ekonomikliği üzerindeki etki	
Etki seviyesi 1:	Faaliyetlerin etkinliği, verimliliği ve ekonomikliği üzerinde doğrudan bir etkisi bulunmamaktadır.
Etki seviyesi 2:	Faaliyetlerin etkinliği, verimliliği ve ekonomikliği üzerinde sınırlı bir etkisi bulunmaktadır.
Etki seviyesi 3:	Faaliyetlerin etkinliği, verimliliği ve ekonomikliği üzerinde etkileri bulunmaktadır.
Etki seviyesi 4:	Faaliyetlerin etkinliği, verimliliği ve ekonomikliği üzerinde önemli etkileri bulunmaktadır.
Etki seviyesi 5:	Faaliyetlerin etkinliği, verimliliği ve ekonomikliği üzerinde çok önemli etkileri bulunmaktadır.

Olasılık, riski azaltmak için uygulanmakta olan kontroller ve alınan önlemler (iç kontrol sistemi) dikkate alındıktan sonra riskin gerçekleşme düzeyi olarak tanımlanmıştır. Risklerin etki ve olasılıklarının değerlendirilmesinde, olasılık için; öngörülen riskin gerçekleşme ihtimalinin Çok Yüksek (Neredeyse Kesin) (5)/ Yüksek (Yüksek Olasılık) (4)/ Orta (Olası) (3)/ Düşük (Zayıf Olasılık) (2)/ Çok Düşük (İhtimal Dışı) (1) olmak üzere beşli seviye olarak açıklaması Tablo 5’de gösterilmektedir.

Tablo 5. Kurumsal Risk Yönetim Modeli Riske Açıklık (Olasılık) Seviyeleri (Enterprise Risk Management Model Risk Exposure (Probability) Levels)

Olasılık Seviyesi	Olasılık Kategorisi	Açıklama
5	Çok Yüksek (Neredeyse Kesin)	Stratejik amaç ve hedefe ulaşılması öngörülen sürede gerçekleşme olasılığı kesin olay veya durum.
4	Yüksek (Yüksek Olasılık)	Stratejik amaç ve hedefe ulaşılması öngörülen sürede gerçekleşme olasılığı yüksek olay veya durum.
3	Orta (Olası)	Stratejik amaç ve hedefe ulaşılması öngörülen sürede gerçekleşme olasılığı mümkün olay veya durum.
2	Düşük (Zayıf Olasılık)	Stratejik amaç ve hedefe ulaşılması öngörülen sürede gerçekleşme olasılığı düşük olay veya durum.
1	Çok Düşük (İhtimal Dışı)	Stratejik amaç ve hedefe ulaşılması öngörülen sürede gerçekleşme olasılığı pek mümkün olmayan olay veya durum.

Mevcut risk yönetim faaliyetleri, riskin seviyesini kurum içerisinde kabul edilebilir seviyeye indirmesi, alınan önlemlerin gerçekleştirilecek kayıpları önlemesi, risk yönetimi için yeterli kaynak olması gibi durumlar dikkate alınarak risk seviyelerinin belirlenmesinde mevcut risk yönetim faaliyetlerinin yeterliliği dikkate alınarak Tablo 6'da sınıflandırma yapılması amaçlanmıştır.

Tablo 6. Mevcut Risk Yönetim Faaliyetlerine İlişkin Sınıflandırma (Classification of Existing Risk Management Activities)

Mevcut Risk Yönetim Faaliyetlerinin (Kontroller) Yeterliliği	Etkinlik ve Yeterlilik Katsayısı	Açıklama
Yeterli ve Etkin	0,2	Mevcut risk yönetim faaliyetlerinin etkin tasarlandığı ve işletildiği mevcuttur.
Kısmen Etkin ve Yeterli	0,4	Mevcut risk yönetim faaliyetleri kısmen etkindir, ilave kontroller tasarlanması gereklidir.
Zayıf	0,8	Mevcut risk yönetim faaliyetleri riskin seviyesini indirgeyecek seviyede değildir. Riskin etki olasılık seviyelerine göre ilave kontroller tasarlanması gereklidir.
Yetersiz ve Etkin Değil	1	Riski yönetmek için tasarlanmış ve işletilen herhangi bir risk yönetim faaliyeti bulunmamaktadır.

Artık risk seviyesi riskin etkisini veya olasılığını azaltmak için yürütülen mevcut risk yönetim faaliyetlerinden sonra kalan risk yönetim seviyesi olarak ifade edilmiştir. Artık risk seviyesi hesaplanırken doğal risk seviyesi ile mevcut risk yönetim faaliyetlerinin etkinliği ve yeterliliği birlikte değerlendirilmiştir. Artık Risk Seviyesi doğal risk puanı ile risk yönetim faaliyetleri Tablo 7'de görüldüğü üzere etkinlik-yeterlilik katsayısının çarpımı ile hesaplanmıştır.

Tablo 7. Artık Risk Seviyesi (Residual Risk Level)

Doğal Risk Seviyesi	Etki*Olasılık
Artık Risk Seviyesi	Doğal Risk Puanı*Mevcut Risk Yönetim Faaliyetleri Yeterlilik Katsayısı

2.4. Performans Riski

Performans riski fonksiyonel risk olarak da adlandırılmaktadır. Performans riski OPYP'de faaliyetlerin verimliliği, etkinliği ve ekonomikliği üzerindeki risk olarak tanımlanmaktadır. Performans (Operasyonel) Risk ile ilgili OPYP de yer alan tanımlama "Potansiyel risklerin gerçekleşmesi halinde faaliyetlerin etkinliği ve verimliliği üzerinde oluşabilecek etki" olarak tanımlanmaktadır.

Tablo 8. Kurumsal Riskler ve Açıklamaları (Enterprise Risks and Disclosures)

Kurumsal Riskler	Açıklama
Mali Risk	Hata, süreçlerdeki karmaşıklık, işlemlerin yoğunluğu, varlıklara yetkisiz erişim, yolsuzluk, varlıklara verilen zarar gibi nedenlerle varlıklarda (parasal veya aynı) oluşabilecek potansiyel kayıp
Yasal Risk	Tabii olunan mevzuata kasıtlı veya kasıtsız olarak uyulmamasından kaynaklanabilecek etki
İtibar Riski	Hata, ihmal, yolsuzluk, sahtekârlık meydana gelmesi, bilgi güvenliği ve gizliliğine uyulmaması durumlarında Kurum/kuruluş imaj ve itibarı üzerinde oluşabilecek olumsuz etki
Performans Riski	Potansiyel risklerin gerçekleşmesi halinde faaliyetlerin etkinliği ve verimliliği üzerinde oluşabilecek etki
Sosyal Risk	Toplumun ve hizmetlerden yararlananların can ve mal güvenliği, menfaat ve memnuniyet düzeyleri üzerindeki etki
Stratejik Risk	Kurumun stratejik amaç ve hedeflerine ulaşmasına etki

3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Bu çalışma kapsamında, kurumsal risk yönetim modelinin yer aldığı Ortak Proje Yönetim Portalının yüklenici inşaat firmaları tarafından kullanılması sonucu; firma hedeflerine ulaşılmasında herhangi bir olumlu etki yaratıp yaratmadığının analiz edilmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda, bir yüklenici inşaat firması ile gerçek olay çalışması için iş birliği yapılmıştır. Firma, yönetsel ve proje süreçlerinde bütünsel olarak iç kontrol ve kurumsal risk yönetim sistemi uygulamayan, ulusal alanda faaliyet gösteren, kamu veya özel ihaleli yapım işlerinde yüklenicilik yapan bir firmadır. Ortak Proje Yönetim Portalı aracılığı ile yüklenici inşaat firmasının risk yönetim kapasitesinin ölçülmesi amacıyla; 1 adedi tamamlanmış, 2 adedi devam eden ve 1 adet de yeni başlayan toplam 4 adet proje üzerinde vaka çalışması gerçekleştirilmiştir.

Bu doğrultuda, vaka çalışmasında iki aşamalı çoklu olay incelemesi yöntemi kullanılmıştır. İlk aşamada iş birliği yapılan yüklenici inşaat firmasının sahibi ve yetkilisi, vaka çalışması yapılacak projelerin şantiye şefi ve teknik ofis sorumlusu ile yüz yüze görüşme yapılarak OPYP ile İç Kontrol ve Kurumsal Risk Yönetim Sistemi modeli kavramsal olarak tanıtılmıştır. Tanıtım sonrasında firma kurumsal yapılanmasına ilişkin dokümanlar gözden geçirilerek firma süreç yönetiminde faydalandığı kontrol listeleri vb. araçlar incelenmiştir. İkinci aşamada yüz yüze yapılan görüşmeler ile OPYP'de yapım sözleşmesi öncesi ve sözleşme sonrası tüm süreçler, süreç hedefleri, süreçlere ilişkin riskler ve risklere yönelik alınması gereken risk azaltıcı tedbirlere ilişkin elde edilen bilgiler dikkate alınarak yapım sözleşmesi süreçlerine ilişkin iyi uygulama örnekleri dikkate alınarak temel seviyede belirlenmiştir. Yüklenici firma riskleri ve proje riskleri; dokümanların gözden geçirilmesi, bilgi toplama tekniklerinden yüz yüze görüşmeler, kök neden analizi, kontrol listeleri analizi ile diyagram tekniklerinden sistem/süreç akış diyagramı tekniklerinden biri veya birkaçı kullanılarak tanımlanmıştır. Beyin fırtınası yöntemiyle, yönetsel ve proje yönetim süreçlerine ilişkin riskler ve risk azaltıcı eylemler (kontroller) belirlenmiştir.

Yüklenici firmanın tanımlanan süreçlerine ilişkin hedefler dikkate alınarak firma sahibi, şantiye şefi ve teknik ofis sorumlusu ile birlikte, Ortak Proje Yönetim Portalında risk analizi yapılarak riskler değerlendirilmiş ve risklere yönelik kararlar alınarak önceliklendirilmiştir. Sonrasında ise risklere ilişkin risk azaltıcı eylemler, risk kategorisi, risk kaynağı, risk türü, risk kök nedeni, risk iştahı, doğal risk puanı, mevcut kontrol faaliyetlerinin etkinliği, artık risk puanı, riske yönelik alınacak kararlar belirlenmiştir. Beyin fırtınası ve yüz yüze görüşme yapılmak suretiyle gerçekleştirilen toplantılar sonucunda OPYP'ye aktarılan veriler, öngörülen ve öngörülemeyen risklerin firma ve proje hedefleri ile ilişkilendirilerek bir risk kütüğü oluşturulmuştur. Vaka çalışması kapsamında yer alan Yüklenici İnşaat Firması tarafından tamamlanmış, mevcut durumda devam eden ve yeni başlayan taahhüt işleri Tablo 9'da gösterilmiştir.

Tablo 9. Vaka Çalışmalarına Ait Proje Bilgileri (Project Information On Case Studies)

Proje Adı	İşin Başlangıç Tarihi	İşin Bitim Tarihi	Süre (Gün)	Sözleşme Bedeli (KDV Hariç Sözleşme Yılı Fiyatlarıyla)
Vaka A (OPYP Kullanılmadı)	8.1.2018	7.4.2019	455	22540000 TL
Vaka B (OPYP Kullanılmadı)	8.5.2018	27.5.2020	751	24860000 TL
Vaka C (OPYP Kullanıldı)	5.11.2019	31.7.2022	1000	30460000 TL
Vaka D (OPYP Kullanıldı)	13.07.2020	15.09.2020	65	6680168,75 TL

Yüklenici İnşaat Firması tarafından OPYP kullanılarak, firma ve proje süreçleri yönetilmiştir. Süreç envanterinde yer alan sözleşme öncesi ve sözleşme sonrası süreçlere ilişkin deneyimler, ilgili yüklenici firma sahibi, teknik ofis

yöneticisi ve şantiye şefi tarafından ifade edilmiştir. Her süreçteki riskler dikkate alınarak süreçler yönetilmiş, takibinde risk yönetim modelinin kullanılması sonrasında süreç çıktılarına ilişkin geribildirim alınmıştır.

OPYP veya iç kontrol ve kurumsal risk yönetimi modelinin, firma süreçlerine olan katkısı Monte Carlo Simülasyon analizi ile ortaya konulmuştur. Monte Carlo analizi yöntemiyle doğal riskin gerçekleşme olasılığı, belirlenen 157 adet risk parametresi üzerinden 1000 iterasyonlu bir simülasyon analizi gerçekleştirilmiştir. Burada riskin ilgili simülasyonda gerçekleşip gerçekleşmediği (1,0), riskin gerçekleşme olasılığına bağlı olarak 1 ya da 0 olan bir fonksiyondur.

$$F(x, \alpha) = \begin{cases} x > \alpha, 0 \\ \text{diğer}, 1 \end{cases} \quad (1)$$

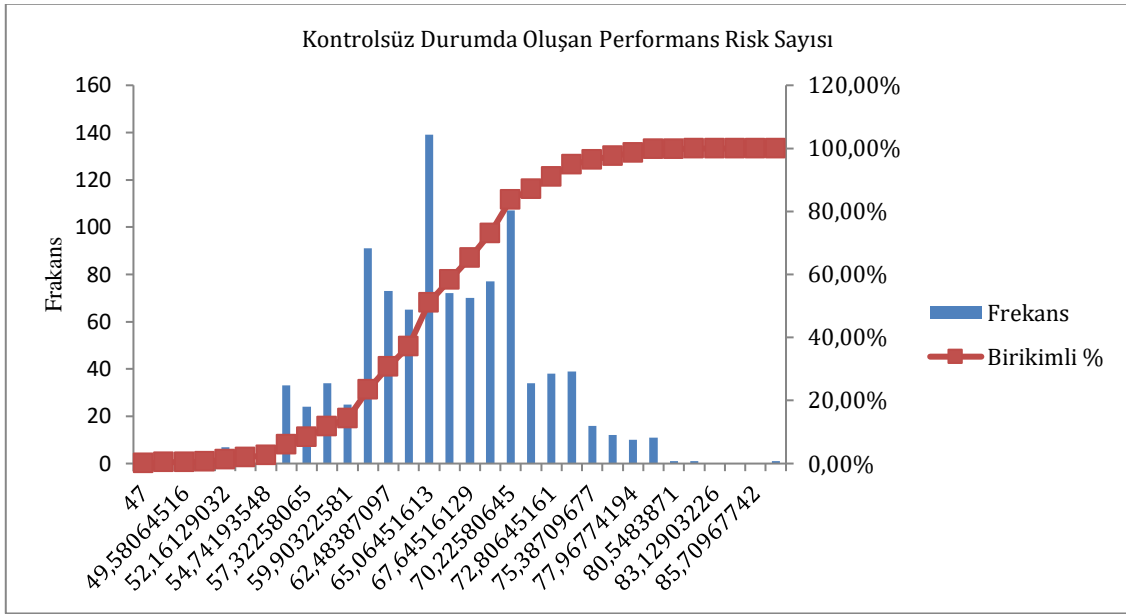
Burada 0 riskin gerçekleşmeme, 1 riskin gerçekleşme durumunu gösterir α riskin gerçekleşme olasılığıdır; x , 0 ile 1 arasında elde edilen rastgele bir sayıdır (Eş.1). Simülasyon için 0 ile 1 arasında düzgün dağılımlı rastgele bir sayı oluşturulmuştur. Ve bu oluşturulan rastgele değer doğa riskin gerçekleşme olasılığından büyük olması durumunda riskin gerçekleşmediği, yani sıfır (0) durum oluşur. Rastgele sayının doğa riskin gerçekleşme olasılığının altında olması durumunda riskin gerçekleştiği bir (1) durumu oluşur (Kurihara vd.,2002). 157 parametre için bu işlem 1000 defa her bir etki için ayrı ayrı kontrollü durum ve kontrolsüz durum için yapılmıştır.

Çalışma kapsamında iş birliği yapılan yüklenici inşaat firmasının dört adet inşaat projesi üzerinde simülasyon gerçekleştirilmiştir. Bu projeler içerisinde bir adet tamamlanmış ve bir adet devam etmekte olan projeler olmak üzere 2 proje üzerinde mevcut kontrol faaliyetleri bulunduğu, OPYP kullanılmamıştır. Bir adet yeni başlayan ve bir adet devam eden projede ise çalışma kapsamında geliştirilen OPYP modeli, proje başlangıcından itibaren uygulanmıştır. OPYP modelinin uygulandığı iki örnek projeye ilişkin OPYP kullanımı sonrası risk seviyesindeki indirgeme miktarları, firma çalışanları ve yöneticileri ile yapılan görüşmeler sonucunda elde edilmiştir. Elde edilen bilgiler ışığında OPYP kullanılan projelerdeki gerçekleşebilecek risk sayıları üzerine bir simülasyon analizi gerçekleştirilmiş olup; OPYP kullanılmayan diğer iki vaka çalışmasına ait simülasyonlar ile karşılaştırılması yapılmıştır. Karşılaştırma sonucunda, OPYP kullanımının yüklenici inşaat firmalarının Kurumsal Risk Yönetimi performansına etkisi değerlendirilmiştir.

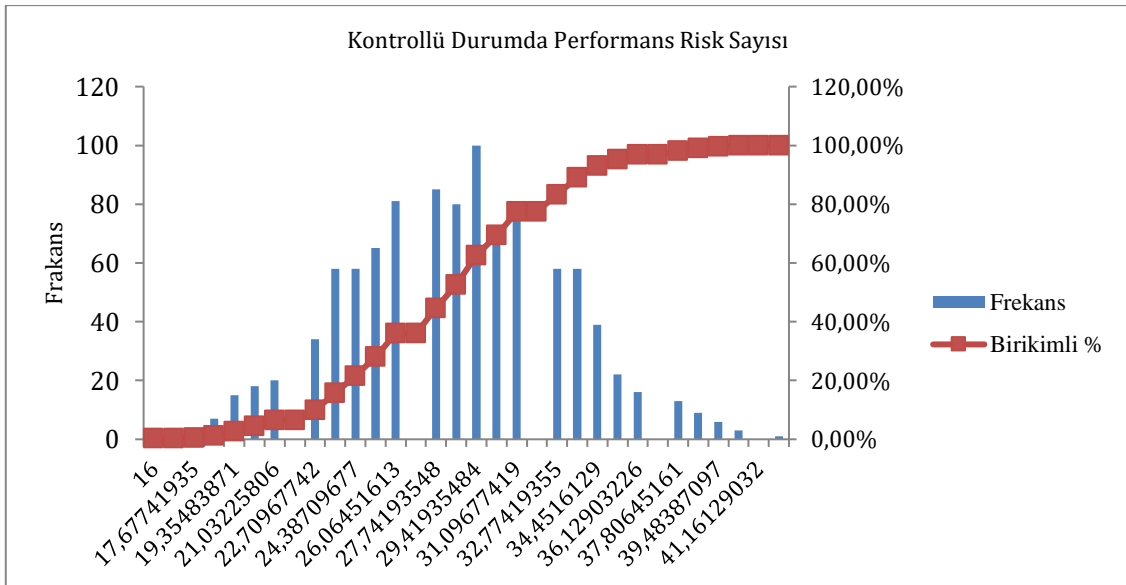
4. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

Bu çalışma kapsamında, yüklenici inşaat firmalarına iç kontrol ve kurumsal risk yönetim sisteminin entegrasyonu için geliştirilen web tabanlı Ortak Proje Yönetim Portalı'nın; inşaat firmalarının Kurumsal Risk Yönetimi kapasitesine ve süreç hedeflerine olan katkısının incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda vaka çalışması olarak ele alınan 4 adet projenin ikisinde OPYP kullanılmış olup; OPYP kullanımı öncesi ve sonrası kurumsal risklerin gerçekleşme olasılıkları Monte Carlo simülasyon tekniği ile analiz edilmiştir. Elde edilen analiz sonuçları, OPYP kullanılmayan iki proje üzerinde gerçekleştirilen kurumsal risk analizi sonuçları ile karşılaştırılarak OPYP'nin projelerin performansı riski üzerindeki etkisi ortaya konulmuştur. Modelde belirlenen kurumsal riskler ve açıklamaları Tablo 3'te verildiği gibi olup; çalışma kapsamında söz konusu risklerden performans risklerine ilişkin OPYP kullanımı sonuçları incelenmiştir.

Vaka çalışması olarak seçilen Vaka A Yapım projesinde OPYP kullanılmamıştır. Projede mevcut firma süreçlerinin kontrolsüz ve kontrollü olmasına ilişkin Monte Carlo Simülasyon analizi sonucunda elde edilen gerçekleşebilecek performans risk sayısı dağılımı Şekil 5 ve Şekil 6'de gösterilmektedir. Vaka çalışması olarak alınan Vaka A yapım projesinde, risk önleyici faaliyetler kullanılmadığı durumda gerçekleşebilecek mali performans sayısı %80 ihtimalle 70 adet iken, kontroller etkinleştiginde bu sayının %80 ihtimalde 31'e düştüğü ve gerçekleşmesi beklenen mali risk olasılığının yaklaşık olarak %56 oranında azaltılabileceği görülmüştür.

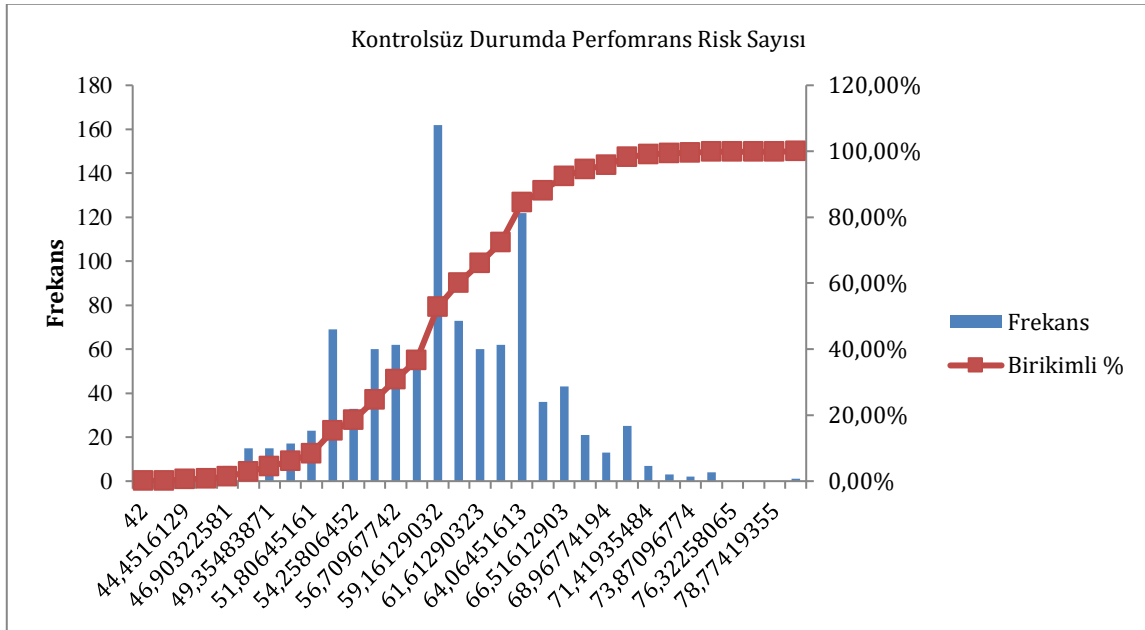


Şekil 5. Kontrolsüz Durumda Performans Risk Olasılık Dağılımı (Performance Risk Probability Distribution Before Control)

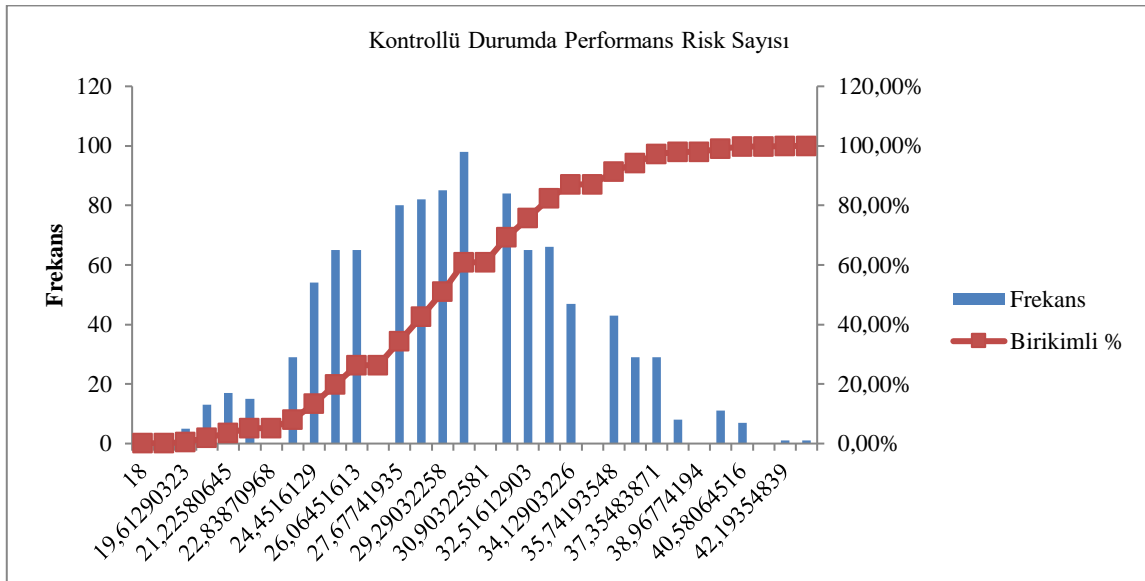


Şekil 6. Kontrollü Durumda Performans Risk Olasılık Dağılımı (Performance Risk Probability Distribution After Control)

Vaka B Projesine ait performans risklerin gerçekleşme olasılığı kontrolsüz ve kontrollü durum sonrası için ayrı ayrı simüle edilmiş olup, analiz sonucu elde edilen performans risk olasılık dağılımları Şekil 7 ve Şekil 8'de verilmiştir. Kontrolsüz durumda doğal risk olarak firmanın %80 ihtimal dahilinde gerçekleşebilecek performans risk sayısı 63'den 32'ye düşerek, performans riskin gerçekleşme olasılığının yaklaşık olarak %50 oranında azaltılabileceği hesaplanmıştır.

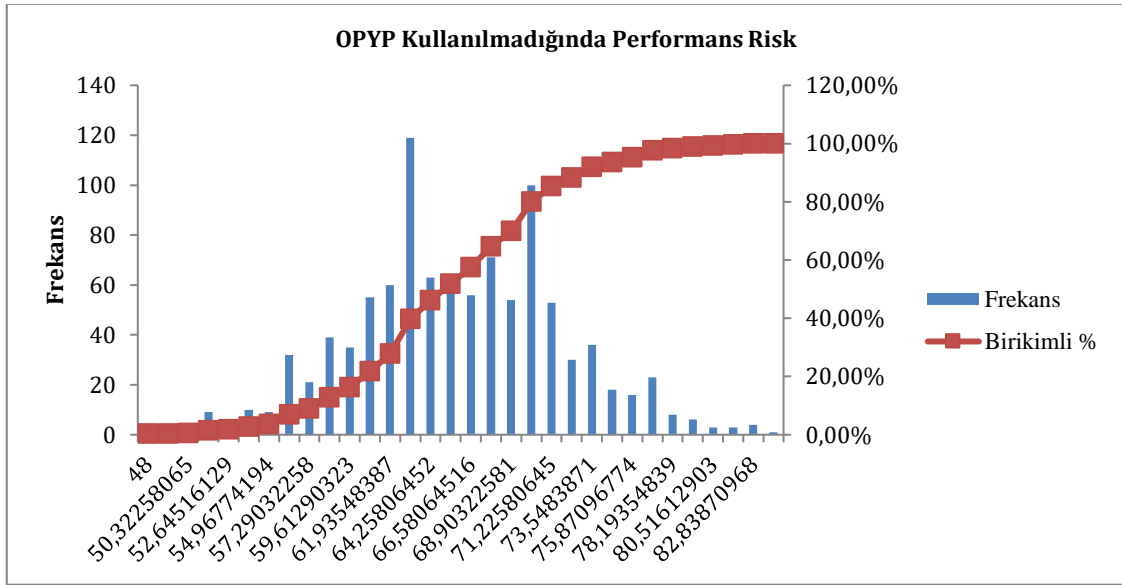


Şekil 7. Kontrolsüz Durumda Performans Risk Olasılık Dağılımı (Performance Risk Probability Distribution Before Control)

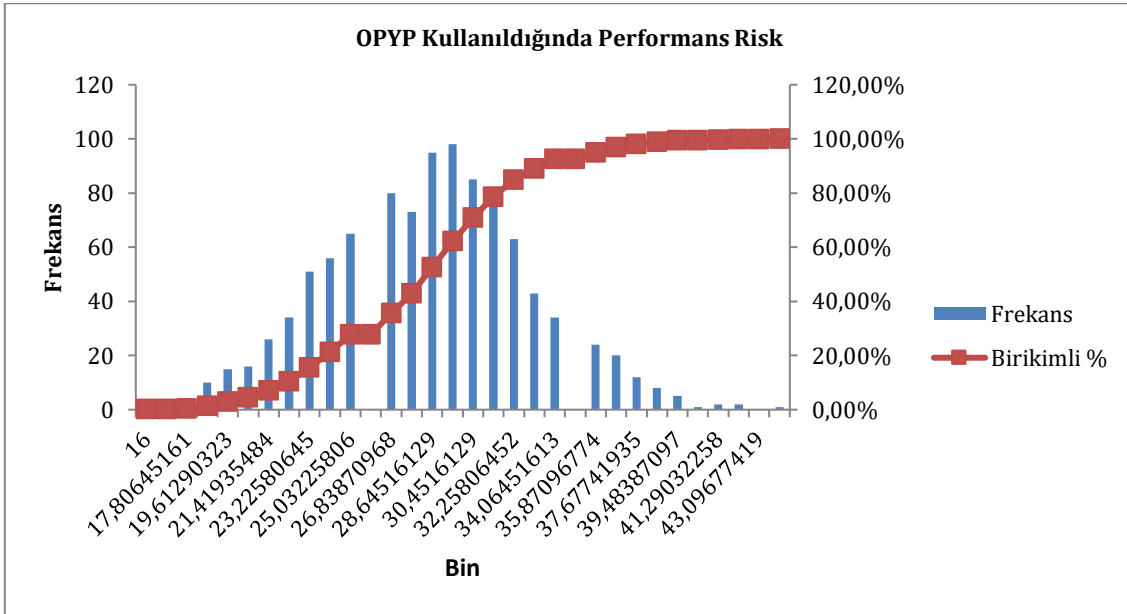


Şekil 8. Kontrollü Durumda Performans Risk Olasılık Dağılımı (Performans Risk Probability Distribution After Control)

Vaka çalışması olarak seçilen Vaka C projesine ait OPYP kullanımı öncesi ve sonrasına ilişkin Monte Carlo Simülasyon analizi sonucunda elde edilen gerçekleştirilecek performans risk sayısı dağılımı Şekil 9 ve Şekil 10'da gösterilmektedir. Vaka çalışması olarak alınan Vaka C yapım projesinde, OPYP kullanılmadığı durumda gerçekleştirilecek performans risk sayısı %80 ihtimalle 70 adet iken, OPYP kullanımı sonucunda bu sayının %80 ihtimalde 32'ye düştüğü ve gerçekleşmesi beklenen performans risk olasılığının yaklaşık olarak %69 oranında azaltılabileceği görülmüştür. Böylelikle proje hedefleri çerçevesinde tamamlanma olasılığı artırılmış olup, daha kontrollü bir süreç yönetimi sağlanmıştır.

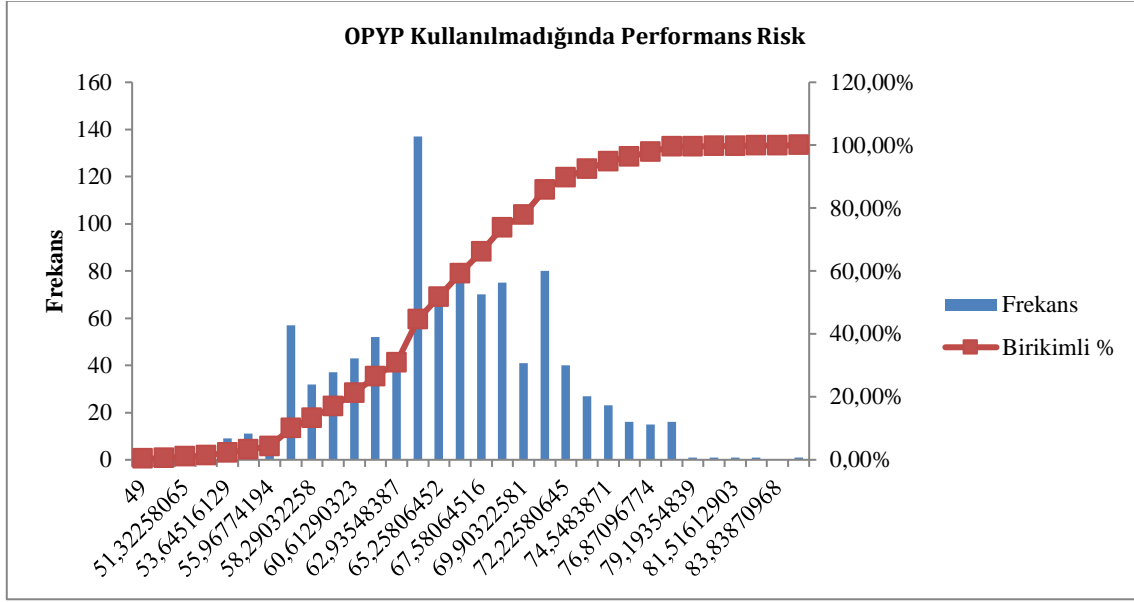


Şekil 9. OPYP Kullanımı Öncesi Performans Risk Olasılık Dağılımı (Performance Risk Probability Distribution Before The Use of OPYP)

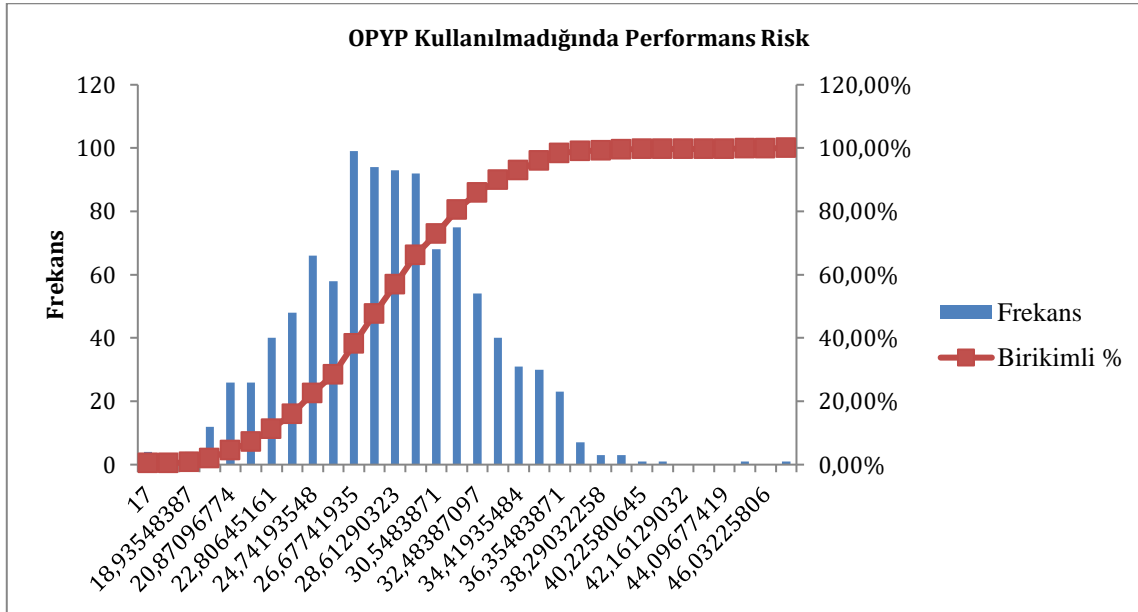


Şekil 10. OPYP Kullanımı Sonrası Performans Risk Olasılık Dağılımı (Performance Risk Probability Distribution After The Use of OPYP)

Vaka çalışması olarak seçilen Vaka D projesine ait OPYP kullanımı öncesi ve sonrasına ilişkin Monte Carlo Simülasyon analizi sonucunda elde edilen gerçekleşebilecek performans risk sayısı dağılımı Şekil 11 ve Şekil 12’de gösterilmektedir. Vaka çalışması olarak alınan Vaka D yapım projesinde, OPYP kullanılmadığı durumda gerçekleşebilecek performans risk sayısı %80 ihtimalle 70 adet iken, OPYP kullanımı sonucunda bu sayının %80 ihtimalde 31’ye düştüğü ve gerçekleşmesi beklenen performans risk olasılığının yaklaşık olarak %70 oranında azaltılabileceği görülmüştür. Böylelikle projenin hedeflerine ulaşmasına engelleyebilecek risk sayısı azaltılmıştır.



Şekil 11. OPYP Kullanımı Öncesi Performans Risk Olasılık Dağılımı (Performance Risk Probability Distribution Before The Use of OPYP)



Şekil 12. OPYP Kullanımı Sonrası Performans Risk Olasılık Dağılımı (Performance Risk Probability Distribution After The Use of OPYP)

OPYP kullanımının, firmanın KRY performansına etkisinin araştırılması amacıyla aynı yüklenici tarafından gerçekleştirilen dört farklı yapım projesi üzerinden simülasyon analizi gerçekleştirilmiştir. Performans değerlendirmesi amacıyla OPYP kullanılan ve OPYP kullanılmayan yapım projeleri üzerinde yapılan simülasyon analizi sonuçları karşılaştırılmıştır. Mevcut kontrollerle performans risk gerçekleşme olasılığının %56 ve %50 oranında azaltılabileceği gerçekleştirilen analizlerle ortaya konulmuştur. Mevcut kontrollere ilave olarak OPYP kullanımında ise performans riski sayısının %69 ve %70 oranında azaltılabileceği belirlenmiştir. Elde edilen veriler sonucunda mevcut kontrollerin yanı sıra OPYP kullanımının, performans risklerin azaltılmasında ek katkı verdiği görülmüştür. Risklerin gerçekleşme olasılıklarının azaltılması; performans risklerin etkileri göz önünde bulundurulduğunda firmaya proje ve kurum seviyesinde önemli ölçüde katkı sağlayabilmektedir. Elde edilen analiz sonuçları ve proje yöneticileri ile yapılan görüşmeler sonucu; OPYP aracılığıyla risk odaklı süreç yönetimi ve proaktif bir yönetim anlayışına geçişin kolaylaştırılarak yüklenici inşaat firmalarının kurumsal risk yönetimi kapasitesinin güçlendirilebileceği değerlendirilmektedir.

5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Yüklenici inşaat firmalarının KRY uygulamalarını kurum kültürüne dönüştürmek, firmaların sürdürülebilir başarısı için önemi olduğu değerlendirilmektedir. Bu bağlamda, yüklenici inşaat firmalarında KRY

uygulamalarının entegrasyonunu sağlaması amacıyla geliştirilen OPYP kullanımı ile yüklenici inşaat firmalarının KRY olgunluk düzeylerinin yükseltilmesi sonucu, iş süreçlerinde olumlu yönde katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Çalışmanın sonuçları temel olarak şu şekilde özetlenmiştir:

OPYP kullanılması durumunda mevcut kontrollerin etkinleştirilmesi ve ilave kontroller tasarlanması ile yüklenici inşaat firmalarının maruz kalacağı risk sayılarında azalma olduğu görülmüştür. Yüklenici inşaat firmalarının maruz kalabileceği risk sayısında azalma olduğu, dolayısıyla firma ve proje hedeflerine ulaşma olasılığının artabileceği değerlendirilmiştir. OPYP ile yüklenici inşaat firmalarında kurumsal risk yönetiminin kurum kültürüne dönüşmesi ve kurumsallaşma seviyesinde yükselme beklenmektedir.

OPYP ile kurumsal risk Yönetim sisteminin firmalara kolay entegre edilmesi ile firmaların kurumsal niteliklerinde yükselme olacağı ve inşaat sektöründe yaygın kullanımı olmayan KRY'nin yaygınlaşması beklenmektedir. KRY'nin inşaat sektöründe pratik olarak yaygınlaşması ile sektördeki firmaların kurumsallaşma ve rekabet gücüne katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir.

OPYP'de mali, yasal, itibar, sosyal, performans, stratejik risk olarak tanımlamaları yapılmıştır. Kurumların misyon ve vizyonu doğrultusunda ortaya çıkabilecek birçok risk tanımlaması OPYP üzerinden yapılabilmektedir. Bu çerçevede; OPYP ile yüklenici inşaat firmalarında kurumsal risk yönetiminin farklı kurum ve kuruluşlarda yaygın bir kullanım ağının oluşması beklenmektedir.

Bu çalışmanın gelecekte yapılacak çalışmalara temel teşkil edebilecek seviyede model oluşturmasının yanında, sahadan alınan gerçek uygulamaya ilişkin veriler nedeniyle benzer yüklenici firmalar arasında risk yönetim sisteminin entegrasyonunu kolaylaştırabileceği kanaatine varılmıştır.

Teşekkür (Acknowledgement)

Yazarlar, TÜBİTAK 1001 Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Projelerini Destekleme Programı kapsamında desteklenen MAG 117M308 numaralı projeye verilen destekleri için TÜBİTAK'a teşekkürü bir borç bilirler.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

Kaynaklar (References)

- Burca, N., 2018. Yenilenen COSO Kurumsal Risk Yönetimi Çerçevesi, <https://nazifburca.com/yenilenen-coso-kurumsal-risk-yonetimi-cercevesi/> Yayın tarihi Eylül 20, 2017.Erişim tarihi: Aralık 16, 2018
- Callahan C. Ve Soileau J., 2017. Does Enterprise risk management enhance operating performance? *Advances in Accounting* Volume 37, 122-139.
- Ching WC., Azli F., Rahim M., Chuing LS.,2021. Enterprise Risk Management and Risk Culture in Construction Public Listed Companies, *Journal of Construction in Developing Countries* . , Vol. 26 Issue 2, p17-36. 20p.
- COSO, 2017. Enterprise Risk Management Integrating with Strategy and Performance, Executive Summary, Massachusetts, ABD.
- Ercan T. ve Arı K., 2020. Yapım Firmalarının Kurumsal Risk Yönetimi Olgunluğunda Risk Yöneticisinin Rolü, *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, 8 (3), 439-449.
- Florio C., Leoni G. 2017. Enterprise risk management and firm performance: The Italian case *The British Accounting Review* Volume 49, Issue 1, , Pages 56-74.
- Gordon L.A., Loeb M.P. ve Tseng C.Y., 2009. Enterprise risk management and firm performance: a contingency perspective, *Journal of Accounting and Public Policy*, 28 (4), 301-327.
- Liu J. Y., Zou P. X. ve Gong W., 2013. Managing project risk at the enterprise level: Exploratory case studies in China, *Journal of Construction Engineering and Management*, 139 (9), 1268-1274.
- Hristov I., Camilli R., Chirico A., Mechelli A., 2022. The integration between enterprise risk management and performance management system: managerial analysis and conceptual model to support strategic decision-making process., *Production Planning & Control*, <https://doi.org/10.1080/09537287.2022.2140086>
- Kiral H., 2017. An Enterprise Risk Management Maturity Model Proposal Applicable at Public Institutions, 32. Uluslararası Maliye Sempozyumu, 342-346, Antalya-Türkiye,
- Kurihara K. ve Nishiuchi N., 2002. Efficient Monte Carlo simulation method of GERT-type network for project management, *Computers & Industrial Engineering*, 42 (2-4), 521-531.
- Mc George D. VE Zou P. X. W.,2013. *Construction management: New directions*, Wiley-Blackwell, Chichester, Birleşik Krallık.
- Memioğlu, C., 2020. İnşaat sektöründe ihale süreci kapsamında sözleşmelerde risk yönetimi, Yüksek lisans tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Soltanzadeh S., Rasid S. Z. A., Golshan N., Quoqub F. ve Basiruddin R. 2014. Enterprise risk management practices among Malaysian firms, *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 164, 332-337.

- Prewett K. ve Terry A.,2018. COSO's updated enterprise risk management framework—A quest for depth and clarity, *Journal of Corporate Accounting & Finance*, 29 (3), 16-23.
- Serpell A., Ferrada X., Rubio L. ve Arauzo S., 2015. Evaluating risk management practices in construction organizations, *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 194, 201-210.
- Tavakoli S. ve Abu Talib N., 2014. Comprehensive Approach to Relationship between COSO ERM and Firm Performance in Construction Industry, *International Research Journal of Applied and Basic Sciences*, 8 (12), 2214-2220.
- Zhao X., Hwang B.G. ve Low S.P.,2015. An enterprise risk management knowledge-based decision support system for construction firms, *Engineering, Construction and Architectural Management*, 23 (3), 369 – 384.
- Zhao X., Hwang B. G. ve Low S. P.,2015. Enterprise risk management in construction firms: a proposed implementation framework. In *Proceedings of the 19th International Symposium on Advancement of Construction Management and Real Estate* (pp. 917-924). Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Almanya.



ABRASION RESISTANCE PREDICTION OF TRUE MARBLES USING CHEMICAL COMPOSITION DATA: A NEW APPROACH

Nurdan GÜNEŞ^{1*}, R. Mete GÖKTAN²

¹ Dokuz Eylül University, The Graduate School of Natural and Applied Sciences, Tınaztepe Campus, İzmir, Turkey

² Unaffiliated researcher, Eskişehir, Turkey

Keywords	Abstract
<i>Construction material, Marble, Abrasion resistance, Wide Wheel Abrasion, Böhme Abrasion.</i>	Natural stones are the widely used building materials in civil engineering and architectural projects. Surface abrasion resistance determination of natural stones is one of the important issues considered in flooring projects. This mechanical property is determined by performing standardized laboratory tests. In recent years, however, there has been considerable interest in its determination by means of indirect methods using the physical, mechanical, and mineralogical properties of stone materials. As a new approach, the present work was undertaken to investigate the potential usability of chemical compositions of true marbles as a guide to predict their Wide Wheel Abrasion (WWA) and Böhme Abrasion (BA) test values. By performing multiple linear regression analyses, statistically significant regression models with high prediction accuracies were derived (p -values < 0.05 ; $R^2 = 0.98-0.99$). In the established prediction models MgO, SiO ₂ , CaO, and (CaO/SiO ₂) ratio were determined as the most significant predictor variables. These models may be updated by inclusion of data from further studies on other types of marbles.

KİMYASAL BİLEŞİMLERİ YARDIMIYLA GERÇEK MERMERLERİN AŞINMA DİRENCİ KESTİRİMİ: YENİ BİR YAKLAŞIM

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Yapı malzemesi, Mermer, Aşınma dayanımı, Geniş disk aşınma, Böhme aşınma.</i>	Doğal taşlar, inşaat mühendisliği ve mimari projelerde yaygın olarak kullanılan yapı malzemeleridir. Yer Döşemesi projelerinde kullanılacak olan doğal taşların yüzey aşınma değerlerinin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Bu mekanik özellik standart laboratuvar deneyleri yardımıyla belirlenmektedir. Bununla birlikte, son yıllarda, yüzey aşınma direnci değerlerinin kayaçların fiziksel, mekanik ve mineralojik özellikleri yardımıyla dolaylı olarak kestirilmesine yönelik çok sayıda çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada, yeni bir yaklaşım olarak, gerçek mermerlerin Geniş Disk Aşınma (GDA) ve Böhme Aşınma (BA) değerlerinin kimyasal bileşimleri yardımıyla kestirilebilirliği araştırılmıştır. Çoklu doğrusal regresyon analizleri uygulanarak, istatistiksel olarak anlamlı ve yüksek kestirim doğruluğuna sahip ($p \leq 0.05$; $R^2 = 0.98-0.99$) modeller elde edilmiştir. Bu modellerde MgO, SiO ₂ , CaO ve (CaO/SiO ₂) oranı en anlamlı kestirim değişkenleri olarak belirlenmiştir. Geliştirilen modeller, diğer mermer türleri üzerinde yapılacak benzer çalışmalardan elde edilen verilerle güncellenebilir.

Alıntı / Cite

Güneş, N., Göktaş, R. M., (2023). Abrasion Resistance Prediction of True Marbles Using Chemical Composition Data: A New Approach, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(4), 1245-1256.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process
N. GÜNEŞ, 0000-0001-6427-392X	Başvuru Tarihi / Submission Date 22.02.2023
R. M. GÖKTAN, 0000-0002-0752-7951	Revizyon Tarihi / Revision Date 02.05.2023
	Kabul Tarihi / Accepted Date 10.05.2023
	Yayın Tarihi / Published Date 30.12.2023

* Corresponding author: nurdan.gunes@deu.edu.tr, +90-232-453-1717

ABRASION RESISTANCE PREDICTION OF TRUE MARBLES USING CHEMICAL COMPOSITION DATA: A NEW APPROACH

Nurdan GÜNEŞ^{1†}, R. Mete GÖKTAN²

¹ Dokuz Eylül University, The Graduate School of Natural and Applied Sciences, Tınaztepe Campus, İzmir, Turkey

² Unaffiliated researcher, Eskişehir, Turkey

Highlights

- An indirect method of marble abrasion resistance prediction is presented using chemical parameters.
- Abrasion resistance values of the samples increase with increasing contents of MgO and SiO₂.
- Abrasion resistance values decrease with increasing CaO content and (CaO /SiO₂) ratio.
- Further studies are needed on other marble types to draw more sound conclusions.

Purpose and Scope

The present work was undertaken for investigating the usability of geochemical data of selected true marbles as a means of predicting their Wide Wheel Abrasion Test (WWA) and Böhme Abrasion Test (BA) values. Seemingly no attention has been paid to the influence of chemical compositions on the abrasion resistance of natural stones. This fact motivates the work reported in this contribution.

Design/Methodology/Approach

In the scope of this study, available experimental data of the two abrasion resistance test methods (WWA and BA) and chemical compositions of five different commercial marble samples were statistically evaluated. In the first part of the study, multiple linear regression (MLR) analyses were performed to select the most relevant input chemical variables for the final prediction models of the WWA and BA test values. Thereafter, using a technique known as the 'Backward Stepwise Regression (BSR)', a number of prediction models of the WWA and BA were constructed.

Findings

The presently established statistically significant models with strong prediction performances (p-values < 0.05; R² = 0.98–0.99) of the WWA and BA imply that the abrasion resistance values of the considered marble samples increase with increasing contents of MgO and SiO₂, while the opposite is valid for CaO and (CaO /SiO₂) ratio. However, the regression models derived for WWA were not found applicable for predicting the BA test values. This was attributed to the fact that abrasion resistance is not an intrinsic material property, as it depends on the measurement method.

Research limitations/implications

Due to limited number of samples used in the analyses, the presently arrived conclusions should be regarded as tentative. In this respect, it is emphasized that further studies are needed on this topic to draw more sound conclusions.

Practical implications

Information obtained by the presented method can be used in flooring projects as a preliminary guide for determining the abrasion classes of true marbles as well as their suitability for use in different foot traffic environments.

Originality

This study presents a novel approach to abrasion resistance determination of true marbles. It is thought that the practitioners and academicians working in the field of natural stone characterization may benefit from the arrived findings.

[†] Corresponding author: nurdan.gunes@deu.edu.tr, +90-232-453-1717

1. Introduction

Due to their durability and appealing appearances, natural stones are widely used as building materials in civil engineering and architectural projects. When intended to be used as floor coverings, building stones are subjected to abrasion resistance testing to determine if they meet the technical requirements of the project. This mechanical property is determined in the laboratory by performing standardized test methods. The information gathered by means of these tests is used for estimating the long-term surface abrasion resistance performance of a stone material under varying intensities of pedestrian foot traffic. In European countries, the two commonly used abrasion resistance test methods are the Wide Wheel Abrasion (WWA) and the Böhme Abrasion (BA) tests described in the European standard EN 14157 (2004, 2017). This standard was approved by the European Committee for Standardization (CEN) in 2004 and later revised in 2017 with minor changes.

Despite their widespread use in the field of building stone characterization, in practical applications there are some shortcomings of the WWA and BA test methods. These are mainly related to laborious and time-consuming testing procedures, difficulties in preparing specially dimensioned test specimens, and the need for specially designed test apparatus which may not be available in every laboratory. Also, regarding the WWA test method, the availability difficulties of the Boulonnaise calibration marble (Marini, 2011) and potential calibration errors due to its heterogeneous structure (Çobanoğlu, 2017) have been pointed out. For these reasons, in recent years a considerable literature has grown up around the theme of predicting WWA and BA values of stone materials by using indirect methods. These methods generally involve developing empirical prediction equations by performing statistical and/or soft computing methods on experimental data of basic rock properties. A brief summary of the research and contributions made in this field are given in the following.

In a recent study (Çelik, 2022), multivariate regression analyses and algorithms of Artificial Neural Networks (ANNs) were performed to estimate the WWA values of travertines from rock properties including porosity, uniaxial compressive strength (UCS), p-wave velocity, and unit weight values. Simple and multiple regression analyses were performed by Mohammed et al. (2021) to identify the relationships between BA test results and the physico-mechanical properties of different stone materials (basalt, tuff, travertine, andesite, and gabbro). Their findings indicated strong correlations between BA and physical rock properties, while a moderate relationship was observed between BA and uniaxial compressive strength (UCS). In another study (Çobanoğlu, 2017), abrasion resistance data (WWA and BA) were correlated to the physical and mechanical properties (Sonic velocity, Shore hardness, Schmidt hardness UCS, porosity, and density) of different rock materials. Also, abrasion resistance classification schemes based on WWA and BA data were proposed. Strzalkowski and Köken (2022) performed ANNs analyses to establish prediction models of the BA by using the density, UCS, Shore hardness, p-wave velocity, and water absorption values of different stone materials. Bayram (2020) demonstrated that the data mining techniques could be satisfactorily used to predict BA of different types of rocks from their physical and mechanical properties (Shore hardness, porosity, unit weight, UCS, modulus of elasticity, and point load strength). The relationships of the WWA and BA abrasion resistance values of different building stones to their physical and mechanical properties were investigated by Karaca et al. (2012). According to their findings, stone materials having open porosity values $\geq 1\%$ showed stronger correlations with the results of both abrasion resistance test results. Also, the UCS was found to be a better indicator of abrasion resistance than the Brazilian tensile strength (BTS). In the same study, a statistically significant linear correlation was established between the WWA and BA test methods. Performing simple regression analyses on experimental data of different building stones, Deliormanlı (2012) demonstrated the existence of strong negative correlations between the Cerchar Abrasivity Index (CAI) and abrasion resistance values of the WWA and BA tests. The results of an experimental investigation by Güneş Yılmaz et al. (2011) indicated that a statistically significant correlation could be established between the UCS and BA of granites used as building stones. The other rock properties examined in their study (porosity, unit volume weight, water absorption, and bending strength) were not found to be reliable indicators of BA resistance of granites. Yavuz et al. (2008) observed high correlations between BA and hardness, UCS, BTS, and bulk density of carbonate rocks. They also found that the studied marbles and limestones were more abrasion resistant than the travertines. By statistically evaluating a large number of test results, Kılıç and Teymen (2008) established high correlations between the BA and physico-mechanical properties (Schmidt hammer hardness, Shore hardness, point-load index, and p-wave velocity) of igneous and metamorphic rocks. Iphar and Göktan (2006) used the Neuro-fuzzy Inference system for BA prediction of marbles by means of their porosity and UCS values. Özvan and Direk (2021) investigated the influence of deterioration on abrasion resistance values of different natural stones. They showed that the aggregate impact values (AIV) could be reliably used to predict the WWA and BA abrasion resistance values of the considered stone materials. The results of an investigation by Yılmaz et al. (2017) revealed that the WWA values of granites were more influenced by modal mineral composition than grain size. The overall Rosiwal mineral hardness was found to be highly correlated to the WWA values of the studied granites. In their study, micro-hardness of the granite samples determined by the Knoop indenter did not correlate well with the measured WWA values.

The preceding literature summary indicates that considerable research has grown up around the theme of abrasion resistance (WWA and BA) prediction by means of indirect methods. Accordingly, the relations of physical, mechanical, and mineralogical properties of stone materials to their abrasion resistance behavior have been well-documented. However, to the best of present authors' knowledge, abrasion resistance with respect to chemical compositions of stone materials has not been investigated previously. In this study, the usability of the chemical compositions of selected marble samples for their WWA and BA predictions was investigated. For this purpose, several predictive models of abrasion resistance were established by performing multiple linear regression analyses on the available experimental data. It is thought that the insights gained from this study may be of assistance to the practitioners and academicians working in this field.

2. Materials and Methods

In the scope of this study, experimental data of the two abrasion resistance test methods (WWA and BA) and chemical compositions of selected marble samples were evaluated. The presently processed experimental data have appeared as parts of two previous studies conducted with the same marble samples, but with different objectives (Karaca, 2010, 2012). Thus, selection of the considered marble samples was solely based on their available properties for the purpose of the present study.

In this study, the term marble refers to 'true' marbles which are crystalline calcareous rocks formed by the metamorphism of limestone, composed of primarily calcite (CaCO_3) and dolomite (MgCO_3) minerals in varying proportions. Commercial names of the marble samples and their corresponding code numbers as used in the present study are: *Afyon White* (S1), *Yatağan White* (S2), *Karacasu White* (S3), *Aegean Silver* (S4), and *Belevi Black* (S5). Descriptions of the two abrasion tests (WWA and BA) and the chemical compositions of the considered samples are presented in the following sections.

2.1 Wide Wheel Abrasion (WWA) Test

The WWA test is the 'reference test method' (Method-A) in the Standard EN 14157 (2004, 2017). Schematic drawing of the standard test apparatus is illustrated in Figure 1. The principle of the test is to abrade the face of a specimen with an abrasive material under specified conditions. For this purpose, a specimen with dimensions 100 mm x 100 mm x 70 mm and flat surfaces within a tolerance of ± 1 mm is prepared and fixed on a clamping trolley. Afterwards, the trolley is forced to move forwards to a steel rotating wheel by means of a counterweight having 14 kg mass. The abrasive powder (white fused alumina) is fed from the guidance hopper onto the wide wheel at a constant rate. In this way, the surface of the specimen is abraded for 60 seconds. Thereafter, the specimen is removed from the machine to measure the width of the groove formed on the contact surface. The WWA value of any stone sample is calculated (in mm) as the average of six individual tests. Before a series of abrasion tests, it is required that the preceding measurement procedures be repeated on a 'Boulonnaise Marble' for calibration of the apparatus. The lower values of WWA obtained in this test indicate higher resistance to abrasion.

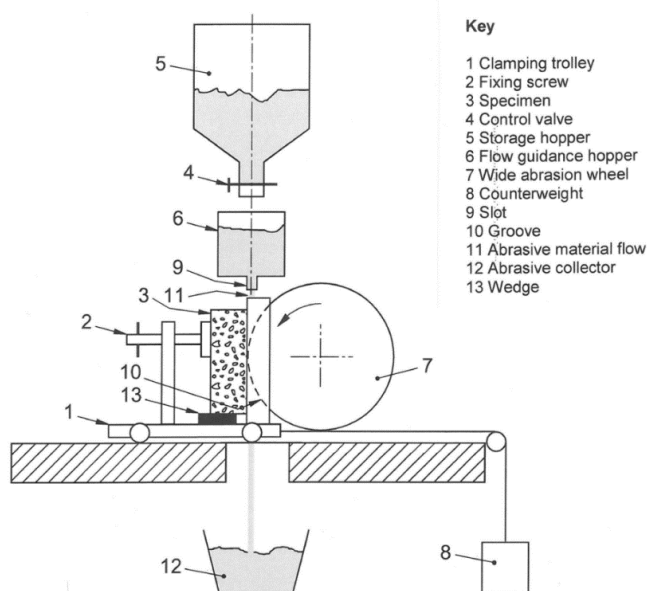


Figure 1. Wide Wheel Test apparatus (EN, 2004, 2017)

2.2 Böhme abrasion (BA) test

The Böhme method, Method-B in the Standard EN 14157 (2004, 2017), is performed by using the standardized test apparatus shown in Figure 2. A test specimen (71x71x71 mm) is fixed to a clamping device on the test track of a 750 mm diameter horizontal rotating disc on which a 20 g of standard abrasive sand (artificial corundum) is sprinkled. Applying a load of 294 ± 3 kN, the specimen is subjected to abrasion for 22 revolutions at 30 rev/min rotation speed. Thereafter, the surface of the test track is cleaned, and the specimen is turned 90 degrees before sprinkling another 20 g of abrasive sand. This procedure is performed for 16 cycles, each composed of 22 revolutions. After completion of the test, the volume loss of the specimen (in mm³) is calculated. The Böhme abrasion resistance (BA) of a rock sample is expressed by averaging the results of five individual tests (EN, 2004, 2017).

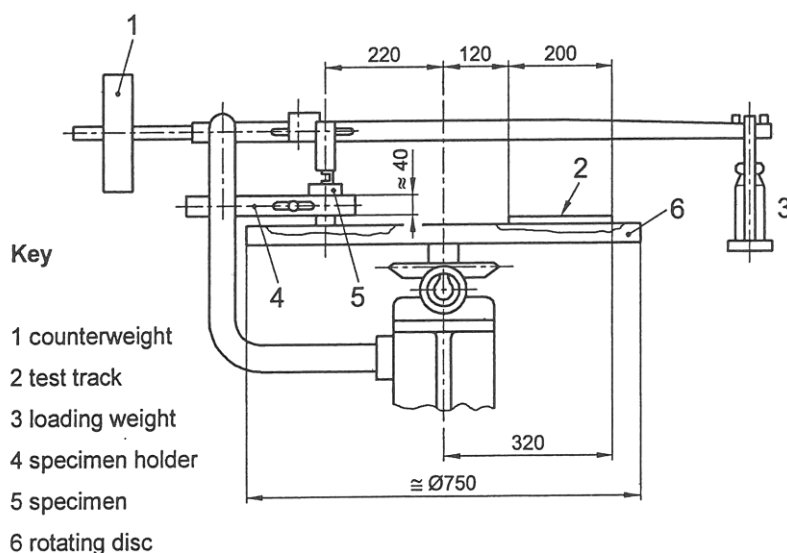


Figure 2. Böhme apparatus (EN, 2004, 2017)

The WWA and BA test results of the considered marble samples are given in Table 1 along with their mechanical properties.

Table 1. Abrasion resistance (WWA and BA) and mechanical properties of the samples (Karaca, 2012)

Sample	Wide Wheel Abrasion, WWA (mm)	Böhme Abrasion, BA (mm ³)	Uniaxial Compressive Strength, UCS (MPa)	Brazilian Tensile Strength, TS (MPa)
S1	23.5 (±0.3)	24047 (±989)	57.66 (±7.30)	6.57 (±0.68)
S2	24.6 (±0.8)	27714 (±1198)	41.02 (±3.33)	4.71 (±0.29)
S3	24.0 (±0.8)	22343 (±858)	23.43 (±3.35)	3.60 (±0.45)
S4	18.6 (±0.0)	17795 (±694)	110.3 (±19.58)	10.1 (±0.46)
S5	19.8 (±0.0)	22093 (±341)	52.74 (±22.0)	8.69 (±0.36)

2.3 Chemical compositions of the marble samples

The chemical compositions of rocks are generally reported as lists of oxides, typically including the concentrations of silica (SiO₂), alumina (Al₂O₃), iron oxide (Fe₂O₃), manganese oxide (MnO), magnesium oxide (MgO), calcium oxide (CaO), sodium oxide (Na₂O), potassium oxide (K₂O), titanium dioxide (TiO₂), phosphorus pentoxide (P₂O₅), and chromium oxide (Cr₂O₃) (Mason, 1990). Chemical compositions of the studied marble samples determined by using the Inductively Coupled Plasma Mass Spectroscopy (ICP-MS) technique are illustrated in Table 2.

Table 2. Chemical compositions of the studied marble samples (in wt. %) (Karaca, 2010)

Sample	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	Cr ₂ O	LOI
S1	0.13	0.03	0.02	<0.01	0.17	55.52	<0.01	<0.04	<0.01	<0.01	<0.01	44.03
S2	<0.04	<0.03	0.01	<0.01	0.18	56.40	0.01	<0.04	<0.01	<0.01	<0.01	43.00
S3	0.16	0.10	0.01	0.01	0.50	55.12	0.02	<0.04	<0.01	<0.01	<0.01	44.00
S4	0.33	0.21	0.08	0.04	5.70	48.86	0.05	0.09	0.02	0.01	0.01	44.58
S5	1.42	0.16	0.03	<0.01	0.93	53.24	0.01	<0.04	0.03	0.01	0.02	44.11

The ratio of CaO to MgO is a widely applied method of quantitative geochemical classification for carbonate rocks (Grant, 1989). According to the geochemical classification system proposed by Storey and Vos (1981) cited in (Madukwe, 2016): CaO to MgO ratios >24.4 indicate Calcite Marble; 24.4-3.95 Dolomitic Calcite Marble; 3.95-1.67 Calcitic Dolomite Marble; and <1.67 Dolomite Marble. Adopting this classification system, the presently studied samples fall into the group of calcite marbles with the exception of Sample S4 which is a dolomitic calcite marble.

Referring to Table 2, the CaO contents of the considered marbles range from 48.86 to 56.40 wt%. The relatively low CaO content of Sample S4 (48.86 wt%) is mainly due to its high MgO content (5.70 wt%), indicating the presence of dolomite. The SiO₂ contents of the samples range from < 0.04 to 1.42 wt%, with Sample S5 having the highest SiO₂ content. Percentage concentration of the other silicate component Al₂O₃ is in the range <0.03-0.21, with Sample S4 displaying the highest concentration. All samples are poor in Fe₂O₃ (0.01-0.08 wt%). Alkali contents (Na₂O and K₂O) are in the range of <0.01-0.05 wt% and <0.04-0.09 wt%, respectively. Concentrations of other oxides P₂O₅ (<0.01-0.01 wt%) and Cr₂O₃ (<0.001-0.002 wt%) are the lowest among all other oxides.

3. Results and Discussion

3.1 Regression Analyses

In this part of the study, multiple linear regression (MLR) analyses were performed to select the most relevant chemical variables for the final prediction models of the WWA and BA test values. For this purpose, the chemical compositions of the samples (Table 2) were used as the independent variables of the regression models. In all statistical analyses made, the less-than values in Table 2 were replaced by half the detection limits (Grant, 1989).

As the first step of the analyses, major oxides CaO, MgO, SiO₂, Fe₂O₃, Al₂O₃, Na₂O, and K₂O were selected as the candidate independent variables. Using the correlation tool in the Excel software, a correlation matrix was constructed to determine the strength and direction of the correlations between pairs of independent variables (Table 3).

Table 3. Correlation matrix of the independent variables

	CaO	MgO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O
CaO	1						
MgO	-0.96331	1					
SiO ₂	-0.28895	0.414150	1				
Fe ₂ O ₃	-0.97690	0.975620	0.173188	1			
Al ₂ O ₃	-0.91657	0.801284	0.545924	0.812871	1		
Na ₂ O	-0.88899	0.956949	-0.10519	0.873263	0.762112	1	
K ₂ O	-0.92350	0.991419	-0.07981	0.958706	0.717749	0.953959	1

The presently constructed MLR models were based on a technique known as the 'Backward Stepwise Regression, (BSR)'. Application of this method starts with fitting the model with all candidates independent variables. Thereafter, variables that do not have a statistically significant effect on the dependent variable are gradually removed one-by-one. This is done by considering the probability value (p-value) of each independent variable. In

this study, a 5% significance level (p -value ≤ 0.05) was selected as statistically significant. After removing the least significant variable, the model is refitted, and the p -values of the remaining variables are re-examined. This approach is repeated until the remaining independent variables are statistically significant. Prediction performances of the constructed regression models were determined by considering the test statistics coefficient of determination (R^2). The R^2 is used as a measure of model accuracy, which explains the proportion of variance in the dependent variable that can be estimated from the independent variable. The R^2 values range from 0 to 1, with values close to 1 suggesting higher prediction performance.

Following the regression procedures outlined above, prediction models of the WWA and BA abrasion resistance values were derived using the Excel software. The two models that best estimate the WWA values of the considered marble samples are given by Eqn. 1 and Eqn. 2:

$$\text{WWA} = 24.5702 - 0.8818 \text{ MgO} - 2.7936 \text{ SiO}_2 \quad (R^2 = 0.98) \quad (1)$$

$$\text{WWA} = -16.2951 + 0.7274 \text{ CaO} - 1.8438 \text{ SiO}_2 \quad (R^2 = 0.99) \quad (2)$$

where WWA is in mm and MgO, SiO₂, and CaO are in wt%.

Regarding Eqn. 1, the coefficient of determination ($R^2 = 0.98$) for the model indicates that 98% of the variation in WWA values can be explained by the independent variables MgO (p -value = 0.01) and SiO₂ (p -value = 0.02). According to Eqn. 1, increasing values of MgO and SiO₂ correspond to lower WWA values, implying higher resistance to abrasion. The R^2 value (0.99) determined for Eqn. 2 suggests that the 99% of the variance in WWA values can be explained by the independent variables CaO ($p = 0.01$) and SiO₂ ($p = 0.04$). The same equation signifies that the increasing values of CaO are associated with higher values of WWA (implying lower resistance to abrasion), while the opposite is valid for SiO₂.

As might be expected, the regression models given in Eqn. 1 and Eqn. 2 were not found applicable for predicting Böhme abrasion (BA) test values. This is probably due to the fact that abrasion resistance is not an intrinsic material property, as it depends on the measurement method. In the case of currently considered marbles, the following relationship was found between BA and WWA test results:

$$\text{BA} = 1100.3 \text{ WWA} - 1519.2 \quad (R^2 \approx 0.70) \quad (3)$$

A separate regression analysis performed on the chemical variables for predicting BA values yielded the following model:

$$\text{BA} = 22853.98 - 939.75 \text{ MgO} + 1.787 (\text{CaO}/(\text{SiO}_2)) \quad (R^2 = 0.98) \quad (4)$$

where BA is in mm³ and MgO, CaO, and SiO₂ are in wt%.

The $R^2 = 0.99$ determined for this model (Eqn. 4) suggests that 99% of the variance in BA can be explained by the independent variables MgO (p -value = 0.02) and the ratio of CaO to SiO₂ (p -value = 0.02). According to Eqn. 4, the BA values of the considered marble samples decrease with increasing values of MgO (implying higher resistance to abrasion), while the opposite is valid for CaO to SiO₂ ratio.

To visually illustrate the accuracies of the presently derived regression models, the predicted and laboratory-measured values are plotted in Figures 3-5.

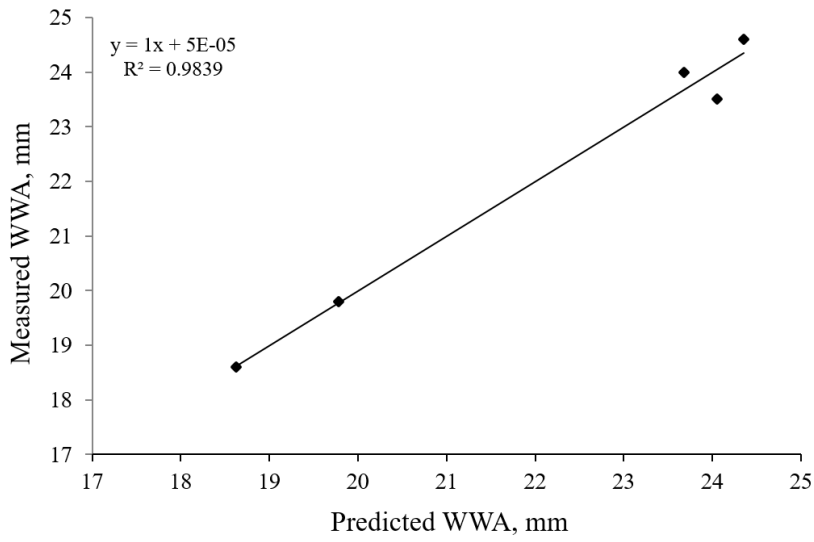


Figure 3. Predicted (Eqn.1) versus laboratory-measured WWA values

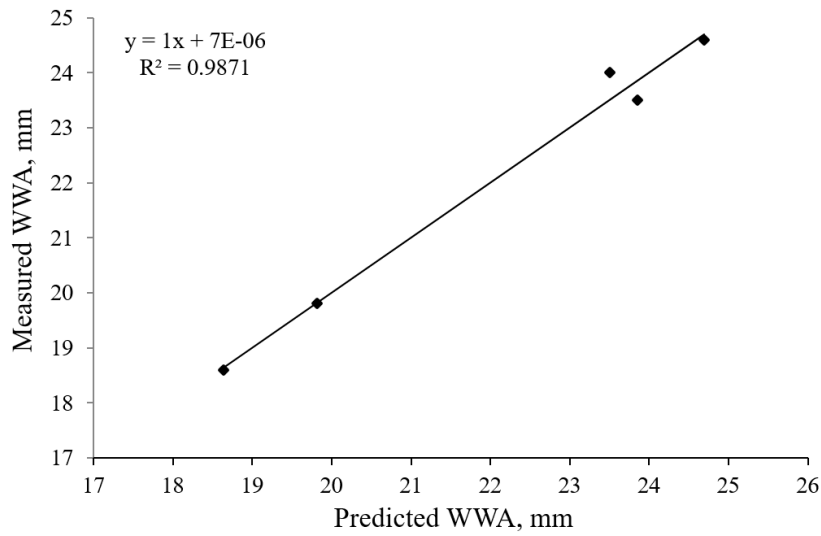


Figure 4. Predicted (Eqn. 2) versus laboratory-measured WWA values

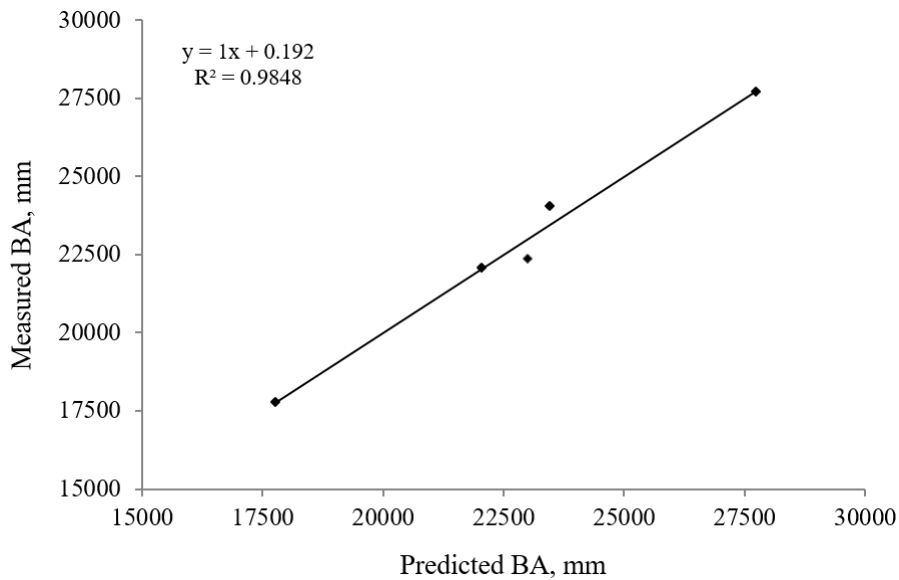


Figure 5. Predicted (Eqn. 4) versus laboratory-measured BA values

3.2 Discussion

The preceding findings indicate that abrasion resistance values of the marbles determined by the WWA and BA tests are closely related to their chemical compositions. The chemical compositions of carbonate rocks are also of particular interest in many industrial applications. In the stone processing industry, for example, the presence of SiO₂ and/or MgO results in lower cutting and grinding performance, higher specific tool consumption, and higher power consumption (Sidorko, 2008; Güneş, 2010; Almasi, 2017). On the other hand, the study of chemical compositions is a key issue when investigating the potential use of marble as a filler material in products such as floor tiles, paints, and glass (Grant, 1989). For these reasons, the chemical compositions of marbles are often reported together with their physical and mechanical properties.

It is important to note that the presently established prediction models are valid only for the considered ‘calcite’ and ‘dolomitic calcite’ type marbles with certain chemical compositional ranges. These models may be updated and expanded by further studies with the inclusion of data from other types of marbles. If confirmed by other studies, the strong prediction capabilities of the presently established statistical models suggest that they may be used as practical tools for preliminary *abrasion class* and *usage class* determinations of similar marble types. While the abrasion class of a stone material is a comparative measure of its abrasability (i.e. low, moderate, high), the usage class describes its suitability for use in a particular location of a building (i.e. fast foot areas, stairs, light foot areas). The abrasion classes and usage classes of natural stones have not been defined by the European Committee for Standardization. However, guidance in this field has been provided by several authors and institutions (Marradi, 2008; TFCGG, 2013; Çobanoğlu, 2017).

As already mentioned in the literature review section, the relations between basic rock properties and abrasion resistance values determined by the WWA and BA test methods have been investigated by many authors. Accordingly, different correlative relations have been developed with varying degrees of correlations depending on the rock type and the employed test method. For the completeness of this study, an additional consideration was addressed to evaluate the influence of some mechanical rock properties on WWA and BA test results. For this purpose, simple linear regression analyses were performed using the individual uniaxial compressive strength (UCS) and indirect tensile strength (TS) values of the marble samples (Table 1). To represent these relations the following regression equations were derived and illustrated in Figures 6-9:

$$\text{WWA} = -0.0659 \text{ UCS} + 25.857 \quad (R^2 = 0.63) \quad (5)$$

$$\text{BA} = -76.8 \text{ UCS} + 27182 \quad (R^2 = 0.49) \quad (6)$$

$$\text{WWA} = -0.9375 \text{ TS} + 27.452 \quad (R^2 = 0.88) \quad (7)$$

$$\text{BA} = -0.0005 \text{ TS} + 18.673 \quad (R^2 = 0.48) \quad (8)$$

where WWA is in mm, BA in mm³, UCS in MPa, and TS in (MPa).

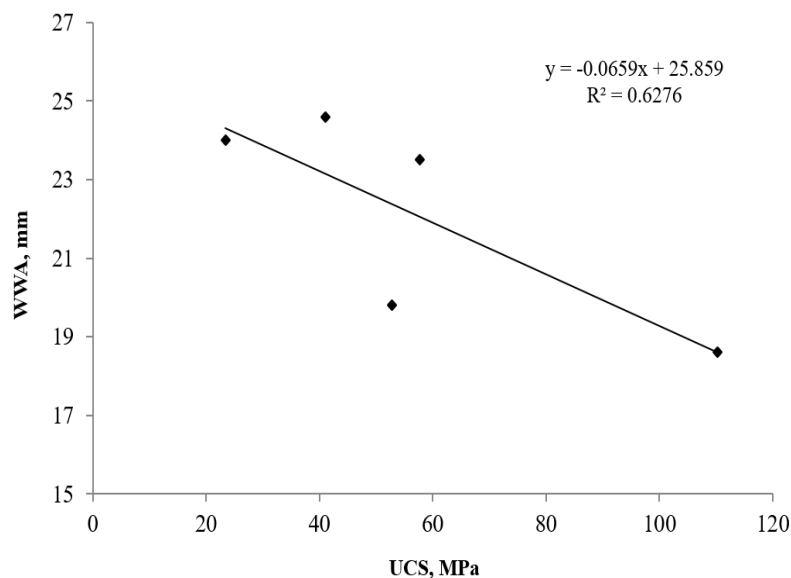


Figure 6. Relation between UCS and WWA values

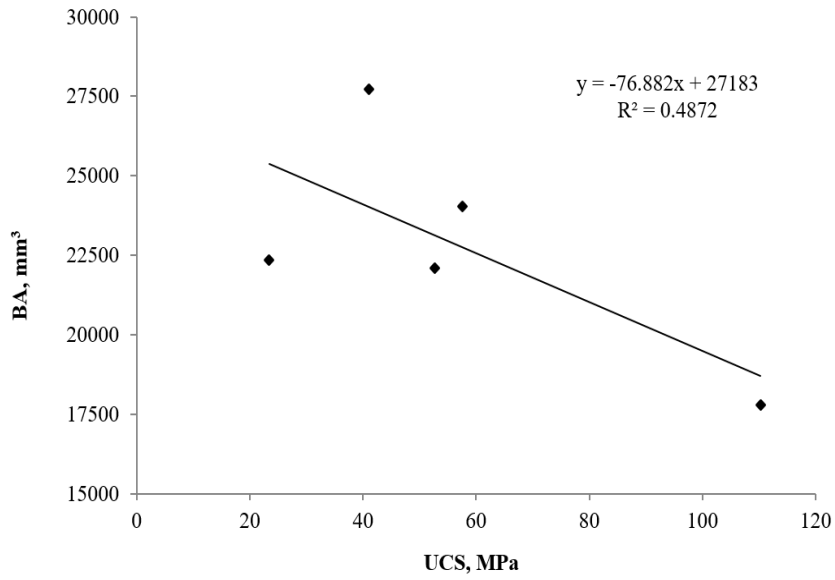


Figure 7. Relation between UCS and BA values

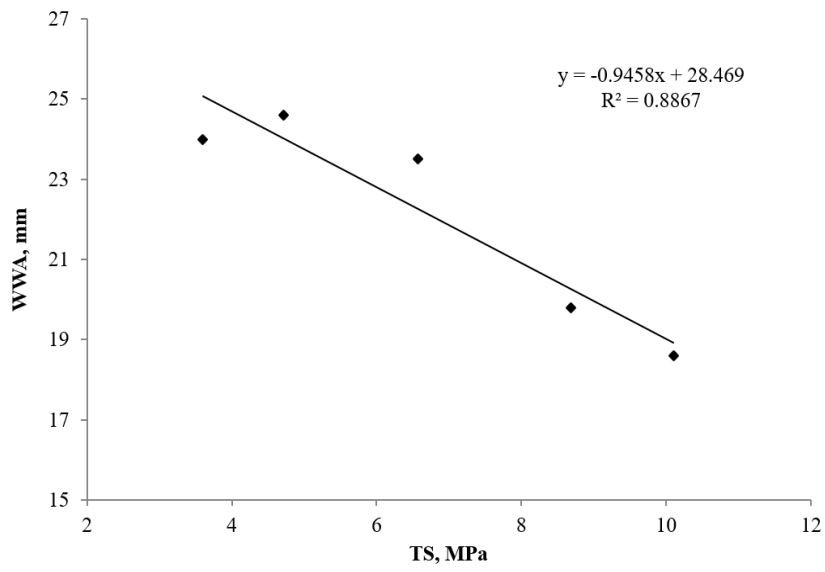


Figure 8. Relation between TS and WWA values

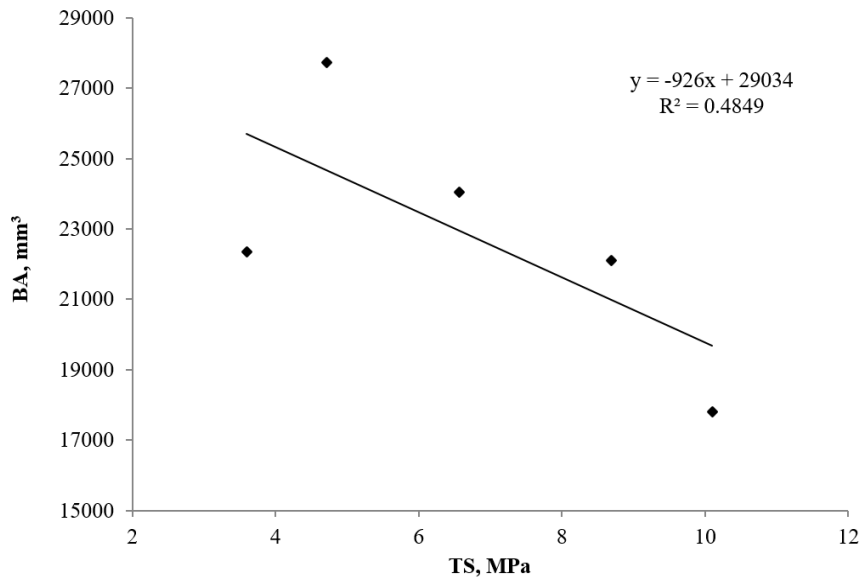


Figure 9. Relation between TS and BA values

As seen from Eqns. (5-8), in all cases there are inverse linear correlations between both abrasion resistance test results and mechanical rock properties, implying higher resistance to abrasion with increasing UCS and TS values. The WWA and BA prediction performances of Eqns. (5-8) can be compared with those based on chemical compositions (Eqns.1, 2, and 4).

4. Conclusions

Knowledge of the abrasion resistance of building stones is required for flooring applications. This mechanical property is determined in the laboratory by conducting standardized tests. However, in the literature, a great amount of work has been devoted to its indirect determination by means of physical, mechanical and mineralogical properties of rocks. The objective of this work was to investigate the possibility of using chemical compositions of marbles as a means of their abrasion resistance prediction. For this purpose, available chemical data and abrasion resistance values (WWA and BA) of five different commercial marbles were evaluated by performing multiple linear analyses.

Based on evidence made from the analyses, the general conclusion is that evaluating chemical parameters of true marbles might be one efficient way of predicting their WWA and BA values. The presently established statistically significant models with strong prediction performances (p -values < 0.05 ; $R^2 = 0.98-0.99$) imply that the abrasion resistance values of the considered marble samples increase with increasing contents of MgO and SiO₂, while the opposite is valid for CaO and (CaO /SiO₂) ratio. It is thought that the currently developed models may be used in practice for preliminary predictions of the WWA and BA values of marbles having similar chemical compositions. In this way, their abrasion classes and suitability for use in different environments (i.e. domestic, commercial, or industrial spaces) can be determined.

Despite strong statistical significances and prediction accuracies of the presently established regression models, this study has some limitations that need to be acknowledged. It is possible that the restricted number of samples used in the analyses can be mentioned as a weakness of the present contribution. This limitation suggests that the currently reached findings should be interpreted cautiously. Nonetheless, notwithstanding this limitation, insights gained from this study could serve as a first step towards a better understanding of the influence of chemical parameters on abrasion resistance of marbles. In this respect, further studies are needed on this topic to draw more sound conclusions.

Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

References

- Almasi, SN., Bagherpour, R., Khademian, A. 2017. Influence of Chemical Impurities of Rocks on Cutting Efficiency and Wire Specific Consumption in Travertine Quarries. 25th International Mining Congress and Exhibition of Turkey. Antalya, Turkey, 493-499.
- Bayram, F. 2020. Data mining techniques for the prediction of Bohme surface abrasion rates from rock properties. *J Test Eval* 48, no.1, 323-332
- Çelik, SB., Çobanoğlu, İ. 2022. Modelling and estimation of Wide Wheel Abrasion values of building stones by multivariate regression and artificial neural network analyses. *J Build Eng* 45, 103443.
- Çobanoğlu, İ., Çelik, SB. 2017. Assessments on the usability of Wide Wheel (Capon) test as reference abrasion test method for building stones. *Constr Build Mater* 151, 319-330.
- Deliormanlı, AH. 2012. Cerchar Abrasivity Index (CAI) and its relation to strength and abrasion test methods for marble stones. *Constr Build Mater* 30, 16-21.
- EN 14157. 2004, 2017. Natural stone-determination of the abrasion resistance. European Committee for the Standardization.
- Grant, WT., Papertzián, VC., Kingston, PW. 1989. Geochemistry of Grenville marble in southeastern Ontario; Ontario Geological Survey, Mineral Deposits Circular 28, 266 p.
- Güneş Yılmaz, N., Karaca, Z., Goktan, RM. 2011. Abrasion resistance prediction of Turkish hard building and decorative stones using physico-mechanical properties. In: Medved M., Vulic, M. editors. Proceedings of the 4th Balkan Mining Congress, Ljubljana, Slovenia. pp. 583-588
- Güneş, AN., Gündüz, V., Altındağ, R. 2010. The effects of total SiO₂ and total CaO elements content of marbles on the sawability performance (In Turkish). *Süleyman Demirel University Journal of Natural and Applied Sciences*. 14-2, 187-193.
- Iphar, M., Goktan, RM. 2006. Prediction of abrasion resistance of marbles using adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS). Proceedings of the Turkish 5th Marble and Natural Stone Symposium, 2-3 March 2006, Afyonkarahisar, Turkey (In Turkish), 171-182.
- Karaca, Z. 2010. Water absorption and dehydration of natural stones versus time. *Constr Build Mater* 24, 786-790.

- Karaca, Z., Günes Yılmaz, N., Goktan, RM. 2012. Considerations on the European Standard EN 14157 test methods: Abrasion resistance of natural stones used for flooring in buildings. *Rock Mech Rock Eng* 45, 103-111.
- Kılıç, A., Teymen, A. 2008. Determination of mechanical properties of rocks using simple methods. *Bull Eng Geol Environ* 67, 237-244.
- Madukwe, H., Obasi, R. 2016. Geochemical and petrogenetic characteristics of the marble deposit at Ikpeshi southern Nigeria. *Nat Sci* 14(9), 1-11.
- Marini, P., Bellopede, R., Perino, L., Regibus, CD. 2011. Optimisation of an abrasion resistance test method on natural stones. *Bull Eng Geol Environ* 70, 133-138.
- Marradi, A., Secchiari, L., Lezzerini, M. 2008. The qualification of materials for their application in road stone pavements. In: *Proceedings of the second international congress on dimension stones*. Carrara, Italy, pp 225-235.
- Mason, R. 1990. *Petrology of Metamorphic rocks* (2nd Edn.). Unwin Hyman Ltd, London, 230 pp.
- Mohammed, AAA., Fener, M., Comaklı, R., İnce, İ., Balcı, MC., Kayabalı, K. 2021. Investigation of the relationship between basic physical and mechanical properties and abrasion wear resistance of several natural building stones used in Turkey. *J Build Eng* 42, 103084.
- Özvan, A., Direk, N. 2021. The relationship among different abrasion tests on deteriorated and undeteriorated rock. *Bull Eng Geol Environ* 80, 1745-1756.
- Sidorko, VI., Peglovskii, VV., Lyakhov, VN. 2008. The effect of silicon dioxide content of natural Stones on their strength properties, material removal rate and power consumption in diamond grinding. *Journal of Superhard Materials*. 30, 414-419.
- Storey, CC., Vos, MA. 1981. *Industrial minerals of the Pembroke-Renfrew area, Part 1: Marble*; Ontario Geological Survey, Mineral Deposits Circular 21, 132 p.
- Strzalkowski, P., Köken, E. 2022. Assessment of Böhme abrasion value of natural stones through artificial neural networks (ANN). *Materials (Basel)* 15 (7): 2533.
- Technical Foundation Centre for Galician Granite. Guide for the design, construction and maintenance of natural stone for internal paving. 1st Edition (2013), Ideaspropias Editorial, Vigo.http://www.fctgranito.es/en/pdf/cap_prueba_pav_interiores_en.pdf. Last accessed 15 February 2023.
- Yavuz, H., Ugur, I., Demirdag, S. 2008. Abrasion resistance of carbonate rocks used in dimension stone industry and correlations between abrasion and rock properties. *Int J Rock Mech Min Sci* 45, 260-267.
- Yılmaz, N., Goktan, RM., Onargan, T. 2017. Correlative relations between three-body abrasion wear resistance and petrographic properties of selected granites used as floor coverings. *Wear* 372-373, 197-207.



A NEW RATIONAL CLASSIFICATION APPROACH BY THE NEW MIXED DATA BINARIZATION METHOD

Muhammed SÜTÇÜ^{1,2*}, İbrahim Tümay GÜLBAHAR¹

¹Abdullah Gül University, Faculty of Engineering, Department of Industrial Engineering, Kayseri, Türkiye

²Engineering Management Department, College of Engineering & Architecture, Gulf University for Science & Technology, Mishref 32093, Kuwait

Keywords	Abstract
<i>Binarization, Classification, Data Mining, IRIS Data Set, Decision Models.</i>	Classification algorithm is a supervised learning technique that is used to identify the category of new observations. However, in some cases, quantitative and qualitative data must be used together. With this approach, we tried to overcome the problems encountered in using quantitative and qualitative data together. In this paper, we model a new classification technique by converting all types of data to binary data because in the real world, data are classified in different types such as binary, numeric, or categorical. By this way, we develop a more accurate and efficient mixed data binarization approach for multi-attribute data classification problems. First, we determine the classes from available dataset and then we classify the new instances into these predetermined classes by using the new proposed data binarization approach. We show how each step of this algorithm could be performed efficiently with a numeric example. Then, we apply the proposed approach on a well-known iris dataset and our model show promising results and improvements over previous approaches.

KARMA VERİ İKİLİLEŞTİRME YÖNTEMİ İLE YENİ BİR RASYONEL SINIFLANDIRMA YAKLAŞIMI

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>İkilileştirme, Sınıflandırma, Veri Madenciliği, IRIS Veri Seti, Karar Modelleri.</i>	Sınıflandırma algoritması, yeni gözlemlerin kategorisini belirlemek için kullanılan denetimli bir öğrenme tekniğidir. Ancak bazı durumlarda nicel ve nitel verilerin birlikte kullanılması gerekir. Bu yaklaşımla nicel ve nitel verilerin birlikte kullanılmasında karşılaşılan sorunlar aşılmaya çalışılmıştır. Bu çalışmada, gerçek dünyada veriler ikili, sayısal veya kategorik gibi farklı türlerde sınıflandırıldığından, tüm veri türlerini ikili verilere dönüştürerek yeni bir sınıflandırma tekniği modellenmektedir. Bu sayede çok özellikli veri sınıflandırma problemleri için daha doğru ve verimli bir karma veri ikilileştirme yaklaşımı geliştirilmiştir. Öncelikle mevcut veri setinden sınıfları belirlenmektedir ve ardından yeni önerilen veri ikilileştirme yaklaşımını kullanarak yeni örnekleri bu önceden belirlenmiş sınıflara sınıflandırılmaktadır. Bu algoritmanın her adımının nasıl verimli bir şekilde gerçekleştirilebileceğini sayısal bir örnekle gösterilmiştir. Ardından, önerilen yaklaşımı iyi bilinen bir iris veri kümesine uygulamış ve modelimiz önceki yaklaşımlara göre umut verici sonuçlar ve iyileştirmeler verdiği gösterilmiştir.

Alıntı / Cite

Sutcu, M., Gulbahar, I.T., (2023). A New Rational Classification Approach by The New Mixed Data Binarization Method, Journal of Engineering Sciences and Design, 11(4), 1257-1269.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process
M. Sutcu, 0000-0002-8523-9103	Başvuru Tarihi / Submission Date 26.05.2022
I.T. Gulbahar, 0000-0001-9192-0782	Revizyon Tarihi / Revision Date 12.07.2023
	Kabul Tarihi / Accepted Date 15.08.2023
	Yayın Tarihi / Published Date 30.12.2023

*İlgili yazar/Corresponding author: muhammed.sutcu@agu.edu.tr, +90-352-224-8800

A NEW RATIONAL CLASSIFICATION APPROACH BY THE NEW MIXED DATA BINARIZATION METHOD

Muhammed SUTCU^{1,2*}, Ibrahim Tumay GULBAHAR¹

¹Abdullah Gül University, Faculty of Engineering, Department of Industrial Engineering, Kayseri, Türkiye

²Engineering Management Department, College of Engineering & Architecture, Gulf University for Science & Technology, Mishref 32093, Kuwait

Highlights

- Introduction of a novel mixed data binarization technique for multi-attribute data classification.
 - Successful integration of diverse data types, including binary, numeric, and categorical.
 - Improved classification accuracy and efficiency demonstrated through practical applications.
 - Valuable contribution to addressing challenges in mixed data classification and enhancing data analysis.
-

Purpose and Scope

In order to increase the accuracy of multi-attribute data classification, this research offers a ground-breaking classification technique designed to successfully integrate various data types. The study deals with problems arising from binary, quantitative, and categorical real-world datasets with various data classifications. The goal is to create a reliable process that converts various data types into binary representations, making it possible to classify new instances accurately and quickly.

Design/methodology/approach

The research suggests a comprehensive mixed data binarization method. This method addresses computational complexity and classification accuracy difficulties by converting various data sources into binary representations. The program recognizes the dataset's data classes before using the cutting-edge mixed data binarization method to categorize fresh instances. This approach is demonstrated with a detailed numerical example and its implementation on a well-known iris dataset.

Findings

The suggested mixed data binarization technique achieves encouraging results, boosting classification accuracy greatly and addressing issues brought on by various data kinds. The method offers an effective approach for multi-attribute data classification by successfully merging quantitative and qualitative data. The results of the study highlight the significance of precise class determination within the dataset as a prerequisite for the proper categorization of new occurrences.

Originality

This research presents a revolutionary methodology that advances the field of multi-attribute data classification by seamlessly integrating several data types. The proposed mixed data binarization method offers reusability, increased precision, and computational effectiveness. This novel method is useful for academics, practitioners, and educators looking for precise data classification techniques because it may be used in a variety of situations.

* İlgili yazar/Corresponding author: muhammed.sutcu@agu.edu.tr, +90-352-224-8800

1. Introduction

Data classification is also very popular with the advances in technology which helps to increase capability of both generating and collecting data. This leads to a trend for data, its size and dimensionality grow. The widespread use of labeling techniques like barcodes, the computerization of businesses and advances in the data collection tools have provided us a huge amount of data. Millions of databases are now used by companies, governments, and universities (UCI, 2007; University of Toronto, 2003). It is noted that the number of these databases continue to grow rapidly because of the high-tech database systems. So, mining the unrefined data and convert it into useful information and knowledge is very important. However, there are a lot of different attributes related to stored data. Some of them have small some others have big impacts on decisions. Thus, splitting up the relevant and irrelevant data becomes an important issue.

Separation of relevant and irrelevant attributes becomes important because irrelevant attributes contain little or no information, for example, students' ID is often irrelevant to the task of predicting students' GPA. Also "redundant attributes" duplicate much, or all of the information contained in one or more other attributes, for example, purchase price of a product and the amount of sales tax paid. Moreover, we should create new attributes that can capture the important information on a data set which are much more efficiently than the original attributes.

A large number of data classification methods have been developed, but they have some obstacles and difficulties which make them unattractive (Carnevali and Miguel, 2008). Hence, researchers are focusing on developing more accurate and more efficient methods or improving the existing methods. Some of the previous methodologies have computational difficulties for large data sets, also these methodologies are time consuming and too expensive. Also, previous approaches are limited to either continuous or discrete case. Moreover, previous approaches are not enough to handle them, and they don't predict efficiently the classes if the dataset includes different variable types. In order to overcome these difficulties, we construct a new classification technique by converting all types of data to binary data because in real world, data are classified in different types such as binary, numeric or categorical. This issue leads us to develop a more accurate and efficient mixed data binarization approach for multi-attribute data classification problems.

Increasingly, methodologists have emphasized the integration of qualitative and quantitative data as the centerpiece of mixed methods. Integration is an intentional process by which the researcher brings quantitative and qualitative approaches together in a study. There are bunch of machine learning tools used in the literature, however they do not give good results due to some limitations. Most of the research data set integrates qualitative and quantitative data in a single research study. It involves collecting and analyzing qualitative and quantitative data to understand a phenomenon better and answer the research questions. Researchers combine qualitative and quantitative methods and data to expand their evidence, improve the credibility of their findings, and illustrate the results from one method with the results from the other one.

In this study, we propose a tool and a model that brings together various quantitative and qualitative data analysis (i.e., mixed analysis) techniques into one meta-framework to assist researchers who use qualitative and quantitative approaches within the same study in the data analysis phase. Our approach combines different types of data by converting them into binary representations. By doing so, we establish a more accurate and efficient mixed data binarization technique for multi-attribute data classification problems. In this paper, we begin by identifying various data types commonly encountered in real-world scenarios, such as binary, numeric, and categorical data. Our proposed approach focuses on converting these diverse data types into binary format to facilitate effective classification. We emphasize the importance of accurately determining the classes within the available dataset, which serves as a foundation for subsequent classification of new instances.

By presenting this novel technique, we aim to contribute to the field of classification algorithms by addressing the challenges associated with integrating diverse data types. Our approach offers a practical solution that can be applied to a wide range of real-world scenarios. The findings of this study provide valuable insights and open new avenues for future research in the field of data classification.

The remainder of this paper is structured as follows: In section 2, we present methodology and theory of the new classification approach. Section 3 discusses the results of the application of the new classification approach to buying computer example. Section 4 contains concluding remarks.

2. Literature Review

Data Classification is one of the most important working areas in data mining. Data classification is a supervised

learning strategy that categories the data in distinct classes. It deals to identify the patterns and classify the new samples into known classes (Silva and Zhao, 2012; Schwenker and Trentin 2014). Classification problems have been studied by different researchers including computer scientists, engineers, statisticians, biologist, and economists (Jouni et al., 2014; Buniyamin et al., 2016; Loh, 2011; Graur et al., 2015).

There are variety of methods for solving classification problems such as neural networks, K-nearest neighbor approach, support vector machines, linear programming, and fuzzy logic (Pratikakis et al., 2017; Cover and Hart, 1967; Zhang et al., 2018; Pal and Foody, 2010; Bai, 2020; Melin et al., 2013). Many data classification methods have been developed till now, but each of them has some shortcomings and difficulties which make them unattractive. Therefore, researchers are focusing on developing more accurate and efficient methods or trying to improve the existing methods. This leads different classification models to be applied in different fields in the literature including finance, risk management, health care, sports, engineering, and science (Zhang et al., 2013; Singhal et al., 2011; Faes, 2019; Russo et al., 2019; Waltman and van Eck, 2012). Also, data classification has a wide range of customer segmentation related applications as well. Characterization of customer segmentation into groups with similar behaviour and predict customer purchasing behavior such as buying a car, can be identified by classification (Sutcu, 2020).

Classification approaches are widely used in various fields to categorize and allocate labels to different entities or data points. In the field of supplier evaluation and selection, Ho et al. (2010) conducted a literature review to survey the multi-criteria supplier evaluation and selection approaches. They classified and analyzed international journal articles from 2000 to 2008, extending previous reviews that covered literature up to 2000. This review contributes to the understanding of supplier evaluation and selection models and provides insights into the classification of approaches in this domain. In the context of hyperspectral image classification, Ghamisi et al. (2017) reviewed existing spectral classifiers specifically developed for hyperspectral images. They highlighted the challenges in hyperspectral image classification, such as the presence of redundant features, limited training samples, and high dimensionality of the data. The review compared different classification approaches, including support vector machines, random forests, neural networks, deep approaches, and logistic regression-based techniques, in terms of classification accuracy and computational complexity. Their review provides a comprehensive overview of spectral classification approaches for hyperspectral images.

Classification-based approaches for spam detection in social networks face limitations in data labeling and spam drifting (Koggalahewa et al., 2021). (Koggalahewa et al., 2021) highlighted the difficulty of detecting new forms of attacks using classifiers trained on older datasets. This review emphasizes the challenges and limitations of classification approaches for spam detection in social networks. L'Hermitte et al. (2014) proposed a new classification model for disasters based on their logistics implications. They conducted a literature review to develop a theory-based approach and applied the model to a case study of the 2011-2012 Somali food crisis. The review integrated situational factors that reflect the impact of the external environment on logistics operations. This study contributes to the understanding of disaster classification from a logistics perspective. In the field of Autism Spectrum Disorder (ASD), Wolfers et al. (2019) reviewed pattern classification and stratification approaches used in research on ASD. They observed large variance in predictive performance across pattern classification studies and discussed factors contributing to this variance, such as sampling bias, validation procedures, and data quality. This review highlights the challenges in mapping biological differences and individual trajectories in ASD. The TNM classification system for malignant tumors has undergone significant revisions over the years (Webber et al., 2014). (Webber et al., 2014) described the annual literature review process used to inform the revisions of the TNM classification.

Expert panels reviewed scientific literature on staging and provided feedback for revisions. This review provides insights into the evidence-based process of improving the TNM classification. Early classification of time series has been extensively studied for time-sensitive applications (Gupta, 2020). (Gupta, 2020) conducted a systematic review of existing approaches for early classification of time series. The review categorized the approaches into four exclusive categories based on their solution strategies. This review provides a comprehensive overview of early classification approaches for both univariate and multivariate time series. Varese & Lombardi (2020) conducted a literature review to analyze the concept, classification, functionalities, and technological processes of dry ports. They used a literature review as a valid approach to identify gaps, issues, and opportunities for further study and research in the field of dry ports. Traffic classification plays a crucial role in prioritizing, protecting, and preventing certain types of Internet traffic (Dainotti et al., 2012). (Dainotti et al., 2012) discussed the challenges and recent advances in traffic classification capabilities. They emphasized the importance of situational awareness of traffic for preventing and mitigating new forms of malware. This review highlights the need for research on global Internet traffic characteristics and the implications of traffic classification for network optimization. Stakeholder identification and classification are essential in sustainability marketing (Kumar et al., 2016). (Kumar et al., 2016) reviewed the literature on stakeholder identification and classification in sustainability marketing

from 1998 to 2012. They provided a generalized approach to stakeholder identification and classification, contributing to the understanding of stakeholder management in the context of sustainability marketing. approaches used in these fields and contribute to the understanding and advancement of classification methodologies.

The objective in data classification is to assign instances that are described by several attributes into a predefined number of classes. The nearest neighbor technique firstly proposed by Fix and Hodges (1951), then modified by Cover and Hart (1967). The use of K-nearest Neighbor for defining the unlabeled samples based on their similarity with the observations in the training set. Nevertheless, experimental studies show that K-nearest neighbor is computationally expensive for a large data set. To find the optimum class, the approach runs several times until the sample converges to a class. Moreover, it needs a large storage, because it runs using the whole set and highly sensitive to the curse of dimensionality. Moreover, it is not possible to quickly reject candidates by using the difference in one coordinate as a lower bound for a distance based on all the dimensions. On the other hand, K-nearest neighbor is simple and faster than other classification methods. Moreover, the misclassification rate of k-NN rule approaches the optimal error rate asymptotically as “k” increases.

3. Material and Method

In this section, we first discuss the new proposed approach and then explain and motivate the new approach with synthetic data. We then describe the matrix types used in our new method and we will give their mathematical formulations. We finally explain applicability of the proposed model with a motivating example.

3.1. New Data Classification Approach

In this subsection, we discuss the theory of the binarization approach.

3.1.1. Theory of the Binarization Approach

The data classification problem is considered in two parts as training part and testing part. Determination of the characteristics of the instances that belong to a certain class and differentiating them from the instances that belong to other classes are the main objectives of the training part. After the classes are determined, then by using the testing part, we can find the classes of the new instances.

Given the classes, the attributes and values of the attributes are sufficient to solve the classification problem with binarization approach. The all data set is represented by set Z. We divide the dataset Z into two groups; training data set which is represented by X, and test data set which is represented by Y. X_i where $i=1, \dots, n$ and Y_j where $j=1, \dots, m$ show the data in each set. There is totally $(n+m)$ amount of data in the set Z. Then, the attributes are shown by

$$\text{Values of instance } X_i = \{x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ik}\} \quad (1)$$

$$\text{Values of instance } Y_j = \{y_{j1}, y_{j2}, \dots, y_{jk}\} \quad (2)$$

where k =number of attributes, x_{ik}, y_{jk} are the attribute values of k th attribute of i th and j th data. We have k attributes, and each attribute has at least one value. For instance, we have 3 attributes A, B, and C. A and B have 2 attribute values, C has 3 attribute values. So, we can represent them as $A = \{a_1, a_2\}$, $B = \{b_1, b_2\}$, and $C = \{c_1, c_2, c_3\}$.

For a given dataset, each data in dataset is written as binary values. So, “1” or “0” is used as an attribute value instead of using the real values. Assume instance-1 has the attribute values like $X_1 = \{a_1, b_2, c_3\}$ so, this attribute values are converted to a binary case by $A = [1, 0]$, $B = [0, 1]$, $C = [0, 0, 1]$ and then in the same logic, the binary vector is written as $X_1^b = [1, 0, 0, 1, 0, 0, 1]$ where X_1^b is the binary vector of instance-1.

3.1.2. Classification of Unclassified Instances

For determining the classes of unclassified instances, we use the metric distance approach. Generally, the aim is to minimize the distance between two classified instances, while maximize the distance between different classes. The most commonly used metrics to measure the distance of a sample from a given training set $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ are as follows where formulation 3 is Minkowski distance, formulation 4 is Least Square distance, formulation 5 is

Manhattan distance, and formulation 6 is Chebychev distance:

$$d(X, X^*) = \left(\sum_{i=1}^n |x_i - x_i^*|^r \right)^{\frac{1}{r}} \quad (3)$$

$$d(X, X^*) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - x_i^*)^2} \quad (4)$$

$$d(X, X^*) = \left(\sum_{i=1}^n |x_i - x_i^*| \right) \quad (5)$$

$$d(X, X^*) = \max_i^n |x_i - x_i^*| \quad (6)$$

where X^* is the unclassified instance data set, x_i^* is the i^{th} unclassified instance. Also, here “d” represents the distance measure, “r” represents the order parameter and finally “n” is the number of instances.

In this study, the Least Square Distance approach is used to measure the performance of the proposed model. The distance between unclassified instance and each class is calculated to find the nearest class for the instance. For each class, $d(X_j, X^*) = (\sum_{i=1}^n (x_{ji} - x_i^*)^2)$ is used as distance measure where X^* is the unclassified data, j is jth class and i is the ith value of the class j and the value of unclassified data. After explaining the previous distance methods, we now introduce our new measurement approach which is called multiplication approach by using a synthetic data set.

3.2. Example of the New Binarization Model with Synthetic Data

We use a synthetic dataset to explain and motivate the new approach. The data table is shown in Table 1. There are four attributes, of which X and W are integer, Y is continuous, and Z is categorical. There are 5 classes in this example.

Table 1. Motivating Example Data Set

INITIAL MIXED DATA SET				
X	Y	Z	W	
3	0.342	A	3	X=Integer
5	0.51	C	120	Y=Continuous
2	0.104	E	141	Z= Categorical
1	0.779	B	6	W=Integer
4	0.628	D	130	

Firstly, attribute “W” is converted to nominal data by clustering with k-Nearest Neighbor algorithm. In this algorithm, the centroid of a cluster is selected as its center point. The centroid can be defined in various ways such as by the mean or medoid of the objects (or points) assigned to the cluster. The difference between an object $p \in C_i$ and c_i , the representative of the cluster, is measured by $dist(p, c_i)$, where $dist(x, y)$ is the Least Square distance between two points x and y. The quality of cluster C_i can be measured by the within cluster variation, which is the sum of squared error between all objects in C_i and the centroid c_i , defined as

$$E = \sum_{i=1}^k \sum_{p \in C_i} dist(p, c_i)^2 \quad (7)$$

where E is the sum of the squared error for all objects in the data set; p is the point in space representing a given

object; and c_i is the centroid of cluster C_i (both p and c_i are multi-dimensional). Here we have the values {3, 120, 141, 6, 130} for the attribute W . Intuitively, by visual inspection we may imagine the points partitioned into the two clusters, if equation-7 is applied and if we select k as 2, the partitioning {3, 6} and {120, 141, 130} has the within cluster variation as following:

$$(3 - 4,5)^2 + (6 - 4,5)^2 + (120 - 130,3)^2 + (130 - 130,3)^2 + (141 - 130,3)^2 = 238,37 \quad (8)$$

given that the mean of cluster {3, 6} is 4.5 and the mean of {120, 141, 130} is 130.3. Therefore, 238.37 is the lowest distance between classes when we partition the set into 2 clusters. Then, the set is converted into numeric values as $w_1 = \{3, 6\}$ and $w_2 = \{120, 141, 130\}$. So, the new dataset converts to nominal values by k -NN and now an updated data set with the attribute values w_1 and w_2 of attribute W is generated. Table-II shows the values of the updated version of the dataset.

Table 2. Motivating Example Converted Data Set

X	Y	Z	W
3	0,342	A	W_1
5	0,51	C	W_2
2	0,104	E	W_2
1	0,779	B	W_1
4	0,628	D	W_2

The second step is converting the continuous attributes by splitting method as shown in Table-3. If the training dataset is big, we could assume that these values are distributed normally. So, we can find the mean and the variance of an attribute and then convert each value of an attribute to a probability value. Then we use the splitting method and partition the continuous valued attributes into 2, 3 or more branches. For instance, if we partition into two, then two branches are grown, corresponding to $A \leq split_{point}$ and $A > split_{point}$. Then, the data values are converted to binary values. (Assume $split_{point} = 0,50$)

Table 3. The Binary Data Set for New Approach

X					Y		Z					W	
X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	Y_1	Y_2	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5	W_1	W_2
0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0
0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1
1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1
0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0
0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1

The final step is the finding the most suitable class for the unclassified instance. For this, Least Square Distance method is used to solve the minimization problem. The class is found by

$$Minimum\ distance = \min_j \left(d(X_j, X^*) = \left(\sum_{i=1}^n (x_{ji} - x_i^*)^2 \right) \right) \quad (9)$$

3.3. Class Matrix, Preference Matrix and Decision Matrix

In this section, we will describe the matrix types used in our new method and we will give their mathematical formulations.

Class matrix shows each class and their attribute values. It is a matrix where rows show the classes and columns show the attribute values.

$$\text{Class_Matrix } C_{(m \times n)} = \begin{pmatrix} c_{11} & \dots & c_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{m1} & \dots & c_{mn} \end{pmatrix} \quad (10)$$

where m=number of classes, n=total number of values of attributes.

Preference matrix shows the preferences of decision maker as a column vector.

$$\text{Preference_Matrix } P_{(n \times 1)} = \begin{pmatrix} p_{11} \\ p_{21} \\ \dots \\ p_{n1} \end{pmatrix} \text{ where } n = \left(\sum_{i=1}^x v_i \right) \quad (11)$$

where v_i is the number of values of an attribute.

Finally, the decision matrix is the multiplication of the class matrix and preference matrix which shows the results of the distances between each class and unclassified distance. We can easily read the distances from the decision matrix. We can find the most suitable class by reading the maximum value of each value of the matrix.

$$\text{DecisionMatrix } D_{(m \times 1)} = C_{(m \times n)} \times P_{(n \times 1)} = \begin{pmatrix} c_{11} & \dots & c_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{m1} & \dots & c_{mn} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} p_{11} \\ p_{21} \\ \dots \\ p_{n1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} d_{11} \\ d_{21} \\ \dots \\ d_{n1} \end{pmatrix} \quad (12)$$

We then look at the best class for a customer's preferences by $c^* = \text{argmax}_i = (d_{i1})$ where c^* shows the best suitable class.

3.4. The Motivating Example of the New Classification Approach

The motivating example includes 4 attributes where attributes "age" and "income" have three values, attributes "student" and "credit" have 2 values. So, for this motivating example, there are different classes however handling with these all classes is difficult, expensive and time consuming. Because this is a small example, but it has 36 different classes. As handling with a bigger problem with so many attributes and values, the number of classes and difficulty of the problem increases exponentially.

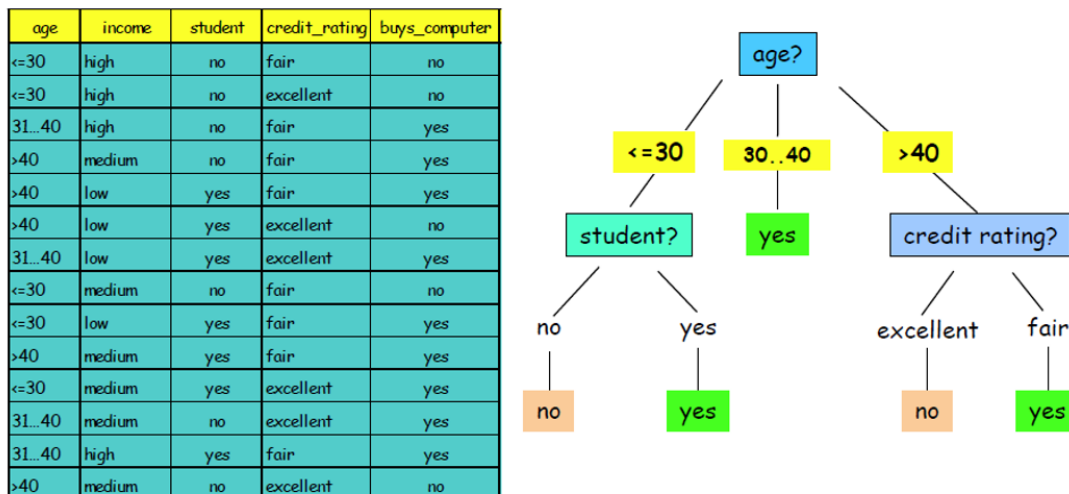


Figure 1. Classification of the Motivation Example by Decision Tree Induction

Due to the difficulty of the problem, we prune the number of classes to fourteen instead of seventy-two. The attributes are given as

$$\begin{aligned}
 \text{Age} &= \{\text{under 30}, 31 - 40, \text{above 40}\} \\
 \text{Income} &= \{\text{low}, \text{medium}, \text{high}\} \\
 \text{Student} &= \{\text{no}, \text{yes}\} \\
 \text{Credit_rating} &= \{\text{fair}, \text{excellent}\}
 \end{aligned}
 \tag{13}$$

Next step, we convert the values of each class into binary values. Therefore, the new table is shown in Table 4.

Table 4. The Binary Data Set for Buying Computer Case

	AGE			INCOME			STUDENT		CREDIT		OUTCOME	
	Age-T	Age-M	Age-O	Income-L	Income-M	Income-H	Student-N	Student-Y	Credit-F	Credit-E	Buy	Not buy
Class 1	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1
Class 2	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1
Class 3	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0
Class 4	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
Class 5	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	1	0
Class 6	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	1
Class 7	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0
Class 8	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1
Class 9	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0
Class 10	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0
Class 11	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0
Class 12	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0
Class 13	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0
Class 14	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1

Now, our model is ready for the unclassified instances. For instance, one of the unclassified instances is given a teen-age, low-income student with a fair credit score. So, it can be written $X = \{\text{teen}, \text{low}, \text{yes}, \text{fair}\}$. Then we convert it to binary values by

Customer Preferences	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0
	Age			Income			Student		Credit	

Finally, we calculate the distances between the instance and 14 classes one by one. The results are shown in Table 5. Also, the outcomes of each class are shown in Table 6.

Table 5. Least Square Distances of Unclassified Instance

Class 1	6	Class 8	6
Class 2	8	Class 9	2
Class 3	4	Class 10	4
Class 4	6	Class 11	6
Class 5	2	Class 12	6
Class 6	4	Class 13	3
Class 7	2	Class 14	8

Table 6. Outcomes of each Class

Class 1	not buy	Class 8	not buy
Class 2	not buy	Class 9	Buy
Class 3	Buy	Class 10	Buy
Class 4	Buy	Class 11	Buy
Class 5	Buy	Class 12	Buy
Class 6	not buy	Class 13	Buy
Class 7	Buy	Class 14	not buy

We can see from the example, without spending too much time and money, we can easily find the class of the unclassified instance. Here, we can see that the instance would be in class-5, class-7 or class-9. In all the options,

we can say that the customer is going to buy a computer. Also, if we compare our findings with the test data (the unclassified instance was taken from the test data set), the customer’s behavior is to buy a computer. Also, we try several options and for each case our findings are 100% correct.

4. An Application on IRIS Flower Dataset

The IRIS data set were used by Fisher in his development of the linear discriminant function and is still one of the standard discriminant analysis examples used in explaining or testing most current approaches and methodologies (Fisher, 1936). In this problem, three classes of IRIS flowers are to be discriminated using four continuous valued features that represent physical characteristics of the flowers. The data set consists of 150 cases, 50 for each class. The four attributes are Sepal Length, Sepal Width, Petal Length, and Petal Width.

The attributed that already been predicted belongs to the class of IRIS plant. The list of attributes present in the IRIS can be described as categorical, nominal, and continuous. The experts have mentioned that there isn’t any missing value found in any attribute of this data set. The data set is complete. This project makes use of the well-known IRIS dataset, which refers to three classes of 50 instances each, where each class refers to a type of IRIS plant. The first of the classes is linearly distinguishable from the remaining two, with the second two not being linearly separable from each other. The 150 instances, which are equally separated between the three classes, contain the following four numeric attributes:

1. sepal length – continuous
2. sepal width – continuous
3. petal length – continuous
4. petal width – continuous

and the fifth attribute is the predictive attributes which is the class attribute that means each instance also includes an identifying class name, each of which is one of the following: IRIS Setosa, IRIS Versicolour, or IRIS Virginica the IRIS dataset (downloaded from the UCI repository, www.ics.uci.edu, which is a 150×4 matrix, is taken as the input data) (UCI, 1988).

In the analysis part, we first convert all the attributes to binary attributes as Table 6 below.

Table 7. Binary Attributes of IRIS Dataset

	Att-1	Att-2	Att-3	Att-4	Class	Attribute-1			Attribute-2			Attribute-3			Attribute-4			
						V-1	V-2	V-3	V-1	V-2	V-3	V-1	V-2	V-3	V-1	V-2	V-3	
1	5.1	3.5	1.4	0.2	Iris-setosa	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	Setosa
2	4.9	3	1.4	0.2	Iris-setosa	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	Setosa
3	4.7	3.2	1.3	0.2	Iris-setosa	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	Setosa
4	4.6	3.1	1.5	0.2	Iris-setosa	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	Setosa
5	5	3.6	1.4	0.2	Iris-setosa	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	Setosa
6	5.4	3.9	1.7	0.4	Iris-setosa	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	Versicolor
54	5.5	2.3	4	1.3	Iris-versicolor	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	Versicolor
55	6.5	2.8	4.6	1.5	Iris-versicolor	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	virginia
56	5.7	2.8	4.5	1.3	Iris-versicolor	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	Versicolor
104	6.3	2.9	5.6	1.8	Iris-virginica	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	virginia
105	6.5	3	5.8	2.2	Iris-virginica	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	virginia
106	7.6	3	6.6	2.1	Iris-virginica	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	virginia

As binarization is the process of transforming data features of any entity into vectors of binary numbers to make classifier algorithms more efficient, we now transform all the attributes of the dataset into binary vectors to represent all the data in the dataset as binary attributes. After converting all the data to suitable binary vectors based on each attribute, we run the proposed model in order to measure the performance of it and compare our model with existing classification models, SVM, k-NN and decision trees using IRIS dataset. Matlab_R2016b version program was used to compare these studies. The performance results are shown on Table 8.

Table 8. Comparison of Classification Models with Proposed Approach

Classification Method	Accuracy Rate (%)	# of Correctly Classified	# of Incorrectly Classified	Processing Time (sec)
k-Nearest Neighbors	82%	123	27	4.18
Decision Tree	79%	118	32	3.48
Support Vector Machine	86%	129	21	4.36
<i>Binarization Method</i>	86%	129	21	3.21

As can be seen in Table-8, the proposed model we defined performed well on IRIS dataset. In general, our model gives a high accuracy rate of 86% where k-NN is around 82%, and decision trees gives an accuracy rate of 79%. The results show that our model gave the same results as SVM and gave better performance than k-NN and decision tree models.

5. Discussion and Conclusion

In real life, most data is processed as numeric or categorical data. The fact that the data is in this form requires that they be used together in the analyzes. Quantitative and qualitative data become interdependent in addressing common research questions and hypotheses. Meaningful integration allows researchers to realize the true benefits of mixed methods to produce a whole through integration that is greater than the sum of the individual qualitative and quantitative parts.

This paper presented a novel binary classification approach specifically designed for multi-class mixed data classification. The motivation behind this research stemmed from the prevalent nature of numeric and categorical data in real-life scenarios, necessitating their joint utilization in analyses. By integrating quantitative and qualitative data, researchers can effectively address common research questions and hypotheses, thereby harnessing the true potential of mixed methods.

The proposed approach in this study introduced a binarization algorithm to identify the classes of unclassified instances, along with the conversion of the dataset into a binary value matrix to handle large data sets efficiently. The model's performance was evaluated using a testing dataset, showcasing high classification accuracies across various cases and data types, including integer, discrete, continuous, binary, and categorical. Notably, the computational time and cost associated with the model were deemed acceptable, making it suitable for tackling large mixed data classification problems.

Additionally, the testing algorithm demonstrated computational tractability even for high-dimensional datasets, with reasonable total computational time observed in the examined scenarios. The accuracy values obtained by the proposed approach surpassed or were on par with other models, such as NN, SVM, Decision Trees, K-Nearest Neighbor, Logistic Regression, and Bayesian Classifier.

In summary, the development of this new approach has provided a viable solution to multi-class mixed data classification problems, leading to improved prediction accuracies. The proposed model not only exhibits high accuracy but also offers simplicity and understandability, making it a favorable choice for researchers and practitioners alike. By embracing this novel approach, the field of mixed data classification can continue to advance and yield valuable insights from diverse types of data.

Acknowledgement

The authors would like to thank the anonymous reviewers and editor for their comments and suggestions.

Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

References

- Bai, Jing, Anran Yuan, Zhu Xiao, Huaji Zhou, Dingchen Wang, Hongbo Jiang, and Licheng Jiao. 2020. "Class Incremental Learning With Few-Shots Based on Linear Programming for Hyperspectral Image Classification." *IEEE Transactions on Cybernetics*.
- Buniamin, Norlida, Usamah bin Mat, and Pauziah Mohd Arshad. 2016. "Educational Data Mining for Prediction and Classification of Engineering Students Achievement." In *2015 IEEE 7th International Conference on Engineering Education, ICEED 2015*, 49–53. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.
- Carnevalli, Jose A., and Paulo Cauchick Miguel. 2008. "Review, Analysis and Classification of the Literature on QFD-Types of Research, Difficulties and Benefits." *International Journal of Production Economics* 114 (2): 737–54.
- Cover, T. M., and P. E. Hart. 1967. "Nearest Neighbor Pattern Classification." *IEEE Transactions on Information Theory* 13 (1): 21–27.
- Dainotti, A., Pescape, A., claffy, k. (2012). Issues and Future Directions In Traffic Classification. *IEEE Network*, 1(26), 35-40.
- E. Fix, J. J. Hodges, (1951) Discriminatory analysis: non-parametric discrimination: Consistency properties. Report No. 4, USAF School of Aviation Medicine, Randolph Field, TX, (1951).
- Faes, L, M K Schmid, S K Wagner Bmbch, Liu Mbchb, R Chopra Bsc, N Pontikos, Sim Phd, et al. 2019. "Automated Deep Learning Design for Medical Image Classification by Health-Care Professionals with No Coding Experience: A Feasibility Study." *Articles Lancet Digital Health* 1: 232–74.
- Fisher, R. A. 1986. "THE USE OF MULTIPLE MEASUREMENTS IN TAXONOMIC PROBLEMS." *The Annals of Human Genetics*, September, 179–88.
- Fisher, R.A. 1988. "Iris Data Set." UCI Center for Machine Learning and Intelligent Systems. July 1, 1988. <https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/Iris>.
- Ghamisi, P., Plaza, J., Chen, Y., Li, J., Plaza, A. (2017). Advanced Spectral Classifiers For Hyperspectral Images: a Review. *IEEE Geosci. Remote Sens. Mag.*, 1(5), 8-32.
- Graur, Dan, Yichen Zheng, and Ricardo B.R. Azevedo. 2015. "An Evolutionary Classification of Genomic Function." *Genome Biology and Evolution* 7 (3): 642–45.
- Gupta, A. (2020). Approaches and Applications Of Early Classification Of Time Series: A Review.
- Ho, W., Xu, X., Dey, P. (2010). Multi-criteria Decision Making Approaches For Supplier Evaluation and Selection: A Literature Review. *European Journal of Operational Research*, 1(202), 16-24.
- Jouini, Mouna, Latifa Ben Arfa Rabai, and Anis ben Aissa. 2014. "Classification of Security Threats in Information Systems." In *Procedia Computer Science*, 32:489–96. Elsevier B.V.
- Kogalahewa, D., Xu, Y., Foo, E. (2021). Unsupervised Spammer Detection In Social Networks Based On User Information Interests.
- Kumar, V., Rahman, Z., Kazmi, A. (2016). Stakeholder Identification and Classification: A Sustainability Marketing Perspective. *Management Research Review*, 1(39), 35-61.
- L'Hermitte, C., Tatham, P., Bowles, M. (2014). Classifying Logistics-relevant Disasters: Conceptual Model and Empirical Illustration. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 2(4), 155-178.
- Loh, Wei Yin. 2011. "Classification and Regression Trees." *Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery* 1 (1): 14–23.
- Melin, Patricia, Frumen Olivas, Oscar Castillo, Fevrier Valdez, Jose Soria, and Mario Valdez. 2013. "Optimal Design of Fuzzy Classification Systems Using PSO with Dynamic Parameter Adaptation through Fuzzy Logic." *Expert Systems with Applications* 40 (8): 3196–3206.
- Pal, Mahesh, and Giles M. Foody. 2010. "Feature Selection for Classification of Hyperspectral Data by SVM." *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 48 (5): 2297–2307.
- Pratikakis, I, F Dupont, and M Ovsjanikov. 2017. "Exploiting the PANORAMA Representation for Convolutional Neural Network Classification and Retrieval." *Eurographics Workshop on 3D Object Retrieval*.
- Russo, Mohammad Ashraf, Laksono Kurnianggoro, and Kang-Hyun Jo. 2019. 2019 International Conference on Electrical, Computer and Communication Engineering (ECCE). IEEE.
- Schwenker, Friedhelm, and Edmondo Trentin. 2014. "Pattern Classification and Clustering: A Review of Partially Supervised Learning Approaches." *Pattern Recognition Letters* 37 (1): 4–14.
- Silva, Thiago Christiano, and Liang Zhao. 2012. "Network-Based High Level Data Classification." *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems* 23 (6): 954–70.
- Singhal, Piyush, Gopal Agarwal, and Murali Lal Mittal. 2011. "Supply Chain Risk Management: Review, Classification and Future Research Directions." *Journal of Business Science and Applied Management*. Vol. 6.
- Sutcu, Muhammed. 2020. "Effects of Total Cost of Ownership on Automobile Purchasing Decisions." *Transportation Letters* 12 (1): 18–24.
- T. M. Cover, and P. E. Hart, "Nearest Neighbor Pattern Classification", *Institute of Electrical and Electronics Engineers Transactions on Information Theory*, 13 (1) (1967), 21-27.
- UC Irvine. 2007. "UCI Machine Learning Repository." UCI. 2007. <https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets.php>.
- University of Toronto. 2003. "Data for Evaluating Learning in Valid Experiments." 2003. <https://www.cs.toronto.edu/~delle/>.
- Varese, E., Lombardi, M. (2020). Dry Port: a Review On Concept, Classification, Functionalities And Technological Processes. *Logistics*, 4(4), 29.
- Waltman, Ludo, and Nees Jan van Eck. 2012. "A New Methodology for Constructing a Publication-Level Classification System of Science." *Journal of the American Society for Information Science and Technology* 63 (12): 2378–92.
- Webber, C., Gospodarowicz, M., Sobin, L., Wittekind, C., Greene, F., Mason, M., ... & Groome, P. (2014). Improving the Tnm Classification: Findings From A 10-year Continuous Literature Review. *Int. J. Cancer*, 2(135), 371-378.
- Wolfers, T., Floris, D., Dinga, R., Rooij, D., Isakoglou, C., Kia, S., ... & Beckmann, C. (2019). From Pattern Classification To Stratification: Towards Conceptualizing the Heterogeneity Of Autism Spectrum Disorder. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, (104), 240-254.

- Zhang, Liang, Lingling Zhang, Weili Teng, and Yibing Chen. 2013. "Based on Information Fusion Technique with Data Mining in the Application of Finance Early-Warning." In *Procedia Computer Science*, 17:695–703. Elsevier B.V.
- Zhang, Shichao, Xuelong Li, Ming Zong, Xiaofeng Zhu, and Ruili Wang. 2018. "Efficient KNN Classification with Different Numbers of Nearest Neighbors." *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems* 29 (5): 1774–85.



AN OPTIMIZATION STUDY ON THE SUCCESS OF THE 3-POINT SHOOTING IN BASKETBALL

Hasbi KIZILHAN^{1*}

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

Keywords

Optimization,
3-Point Shooting,
Adams View,
Ball Release Parameters,
Basketball.

Abstract

A successful shot in basketball is critical to winning a game. Especially, the shot from the 3-point line both scores more points compared to other shots and draws the fans into the game more. The success of the 3-point shooting (3PS) depends on many factors, including the release height of the ball, jump height and physical characteristic. These parameters must be optimally adjusted for a successful shot. The aim of this study is to find the appropriate velocity and angles for a successful 3PS by combining the ball release parameters. For the optimization, the design parameters, and the distance of the ball to the basket were defined as input and output variables to the Adams/View Insight module, respectively. While the velocity and angle input values were taken in accordance with the literature studies, the release height of the ball was calculated depending on the height, jump height and joint angles of the player. The optimization results reveal what the appropriate angle and velocity values should be for players having different heights for a successful 3PS. It should be emphasized that this study has been put forward to bring a different interpretation to basketball with an engineering approach.

BASKETBOLDA 3-SAYILIK ŞUTUN BAŞARISI ÜZERİNE BİR OPTİMİZASYON ÇALIŞMASI

Anahtar Kelimeler

Optimizasyon,
3-Sayıllık Atış,
Adams View,
Top Bırakma Parametreleri,
Basketbol.

Öz

Basketbolda başarılı şut maçın kazanılmasında kritik öneme sahiptir. Özellikle 3-sayı çizgisinden atılan şut, hem diğer atışlara kıyasla daha fazla sayı kazandırmakta hem de taraftarı oyunun içine daha fazla çekmektedir. 3-sayıllık atışın (3PS) başarısı topun bırakılma yüksekliği, zıplama yüksekliği ve fiziksel karaktersizlik gibi faktörlere bağlıdır. Başarılı bir şut için bu parametrelerin optimum bir şekilde ayarlanması gerekir. Bu çalışmanın amacı top bırakma parametreleri kombine edilerek başarılı bir 3-sayıllık atış için uygun hız ve açıların bulunmasıdır. Optimizasyon çalışması için, tasarım parametreleri ve topun çembere olan uzaklığı Adams/View Insight modülüne sırasıyla girdi ve çıktı değişkenleri olarak tanımlanmıştır. Hız ve açı girdi değer aralığı literatür çalışmalarına uygun olarak alınırken, topun bırakılma yüksekliği oyuncunun boyu, zıplama yüksekliği ve eklem açılarına bağlı olarak hesaplanmıştır. Tasarım parametrelerinin değerlerine bağlı olarak 1859 iterasyon gerçekleştirilerek sonuçlar bulunmuştur. Sonuçlar farklı boydaki oyuncuların başarılı bir 3-sayıllık atış için uygun açı ve hız değerlerin ne olması gerektiğini göstermektedir. Bu sonuçlara göre; 1.82 m, 1.86 m ve 1.92 m boya sahip oyuncular sırasıyla 40° ve 8.75 m/s, 45° ve 8.75 m/s ve 50° ve 8.5 m/s açı ve hızda topu bıraktıkları zaman, 3-sayıllık şut atışı çembere girebilecektir. Şu önemle vurgulanmalıdır ki bu çalışma basketbol sporuna mühendislik yaklaşımıyla farklı bir yorum getirmek amacıyla ortaya konulmuştur.

Alıntı / Cite

Kizilhan, H., (2023). An Optimization Study on the Success of the 3-Point Shooting in Basketball, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(4), 1270-1281.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

H. Kizilhan, 0000-0001-9433-0171

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	28.09.2022
Revizyon Tarihi / Revision Date	28.07.2023
Kabul Tarihi / Accepted Date	17.08.2023
Yayın Tarihi / Published Date	30.12.2023

* İlgili yazar / Corresponding author: hasbikizilhan@sdu.edu.tr, +90-246-211-0822

AN OPTIMIZATION STUDY ON THE SUCCESS OF THE 3-POINT SHOOTING IN BASKETBALL

Hasbi KIZILHAN^{1†},

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

Highlights

- The focus of this paper is to find the appropriate velocity and angles for a successful 3PS.
 - For a successful 3PS, the ball release parameters have been optimized by using Adams/View Insight module.
 - Optimization work will increase the percentage of success in the 3-point shooting rate in basketball.
-

Purpose and Scope

In this study, an optimization study on the performance of a shooting which is from the 3-point line was presented by combining the ball release parameters (height, the release velocity, and the release angle of the ball) in MSC Adams/View environment.

Design/methodology/approach

In the present study, an optimization study has been carried out for a successful 3PS by combining the ball release parameters. Within the study, previously the exact dimensions of FIBA basketball court were visualized in the Adams/View. After modelling the basketball court, design variables are needed for optimization study. Design variables are the release height, release the velocity and the release angle of the ball. While the velocity and angle input values were taken in accordance with the literature studies, the release height of the ball was calculated depending on the height, jump height and joint angles of the player. For the optimization, the design parameters, and the distance of the ball to the basket were defined as input and output variables to the Adams/View Insight module, respectively.

Findings

With the study, it is revealed that a guard player with an average height of 1.92 m can shoot successfully at what speed and angle when he releases the ball. In other words, it can be said that a successful basketball throw can be achieved when a player with a height of 1.92 m shoots with a 45° release angle and 8.75 m/s release velocity. It is seen that the success of the 3-point shot in basketball will increase when the ball is thrown with the appropriate ball releasing parameters. The optimization study can reveal that a player whose throw height can be determined can make a successful shot if he releases the ball at what speed and angle. Optimization work will help to achieve a high success rate in 3-point shots in basketball.

Originality

In this study, an optimization study was carried out in MSC Adams/View environment by using the ball release parameters as the input ball distance to the basket as output. The results obtained are capable of answering the following questions. At what angle can a released ball reach the ring for a 3-pointer? Which angle can a dropped ball reach to the basket for 3PS? Which velocity and angle are necessary to be a successful 3PS in case of a player who has certain height throwing the ball? The study presented here is carried out to bring an interpretation to basketball from an engineering point of view.

[†] İlgili yazar/Corresponding author: hasbikizilhan@sdu.edu.tr, +90-246-211-0822

1. Introduction

The goal of every player in basketball is to score points. A good shot gets the points, and the points brings the game. In this sport, players can make jump shots, set shots, lay-ups and free throws to score points. Jump shot is the most effective shooting technique disorders (Knudson, 1993; Zwierko et al., 2017). This shooting technique constitutes 67% of the shooting styles used in the NBA in the 2014 season (Boddington et al., 2019). The technique is a complex and technically difficult type of movement in which the player throws the ball into the basket while he is in the air. Many factors must be optimized together to achieve an effective shot in this technique (Okubo and Hubbard, 2015; Rojas et al., 2000; Satti, 2004). These factors are the release height of the ball, the release velocity of the ball, and the release angle of the ball to the ground counterclockwise (Okazaki and Rodacki, 2012). The factors affecting shooting success in basketball and the relationship among these factors are shown in Figure 1.

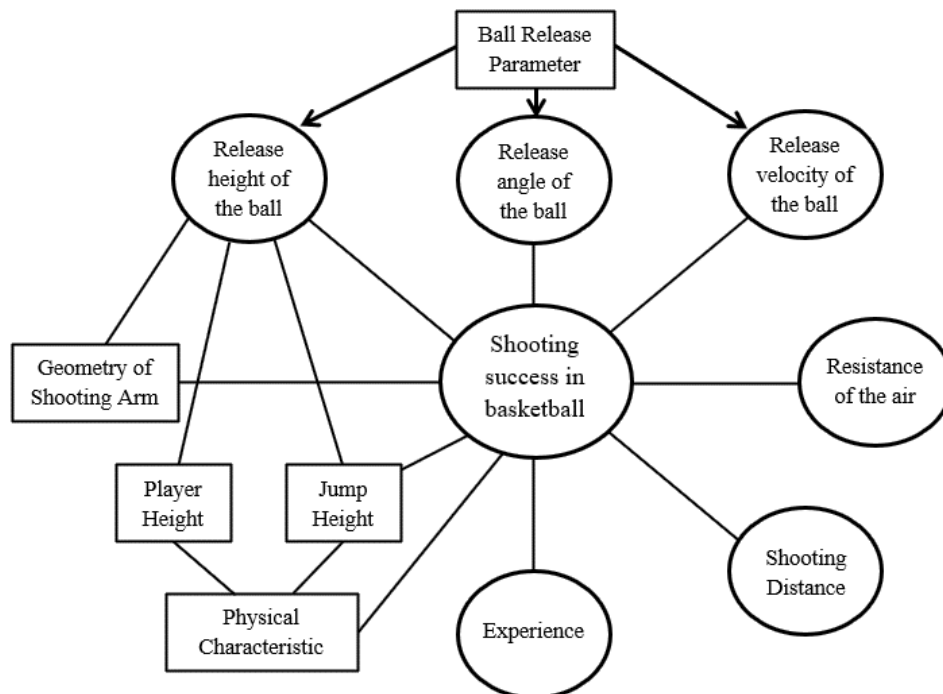


Figure 1. Factors affecting shooting success in basketball (Okazaki et al., 2015)

The first of the parameters affecting the success of the jumping shot technique is the release height of the ball. It depends on kinematic variables such as the player's jump height, height, and joint angles. The determination of the height and the body kinematics parameter is usually done by using camera capture and different measurement methods. The Casio Exilim camera was used to determine the angles of shoulders and hip joints' rotation during a jump shot (Štirn et al., 2019). The MVN Biomech motion capture system was used to determine the joint angular velocity of young basketball players during the jump shot (Podmenik et al., 2017). In a study carried out to examine the effect of fatigue on shooting kinematics during consecutive shots, Li et al., 2021 found the release height of the ball for female players as 2.015 m by using the Xsens (Xsens technologies B. V., Netherlands) MVN inertia suit system. In a study carried out by Slawinski et al., (2018) to examine the effect of repeated sprints on the kinematics of 3PS, the kinematic variables of the players during the shooting were determined by being used the Xsens MVN inertia suit system. In this study, the release height of the player who is not tired was measured as 2.35 m (Slawinski et al., 2018). Çelik et al., (2013) used a camera system to analyze the kinematics of the player during 3PS. In the study, the subjects' height of shot was determined as 2.83 m. Miller and Bartlett, (1996) used camera systems to measure the ball release height of the players having different heights during the shooting from 6.4 m. In this study, the release height of the ball was measured as 2.30 m, 2.52 m and 2.23 m for guard, forward and centers players, respectively (Miller and Bartlett, 1996). As can be seen in studies in the literature, high-tech measurement technologies are needed to obtain different parameters of the player.

One of the parameters that affect the success of shooting is the release angle of the ball. Throwing the ball at an appropriate angle increases the success of the ball's pass into the basket. In literature, the release angle of the ball during the jump shot has been revealed as $\sim 53^\circ$ (Elliott and White, 1989) and 48° - 50° (Elliott, 1992) for female players and 44° - 47° (Elliott, 1992), 47° - 52° (Miller and Bartlett, 1993), 48° - 55° (Miller and Bartlett, 1996), 44° - 47° (Rojas et al., 2000) and $\sim 65^\circ$ (Okazaki and Rodacki, 2012) for male players. As you can see, the release angle of the ball varies according to the player and the distance where the shot is made. This change has also been demonstrated in the study that belongs to Miller and Bartlett. They carried out a study to reveal how there is a

relationship between shooting distance and shooting parameters for players in different positions (guard, forward and center). In this study, it was revealed that the release angle of the ball decreases with the increase of the shot distance (Miller and Bartlett, 1994). Literature studies have shown that the release angle of the ball changes in shots made from different distances. In our article, since an optimization study will be performed for 3PS, it will be more useful to examine the literature on how the release angle of the ball changes in the 3-point line. Slegers et al., (2021) recorded 75 3PS and measured the average release angle of the ball 49.7° during 3PS. In a study performed to examine the effect of dehydration on technique of 3PS and performance, the release angle of the ball was taken as 51° (Louis et al., 2018). Slawinski et al., (2018) measured the release angle of the ball as 51.1° during 3PS for U18 basketball players having an average height of 1.90 m. Çelik et al., (2013) examined the kinematic analysis of the shots thrown from the 3-point line (6.75 m) by players playing in different leagues and they measured the release angle of the ball as 50.72° for players with a height of 1.91 m.

Another parameter to consider for a successful shot is the release velocity of the ball. Throwing the ball at an appropriate velocity is extremely important. Throwing the ball fast or slow will decrease the success of the shot as well as affecting the movement of the body parts. The shooting distance of the player also affects the release velocity of the ball. The release velocity (5.68 m/s, 6.27 m/s and 8.36 m/s for guards) of the ball for players in different positions varies according to the distance of the shot (2.74 m, 4.57 m and 6.40 m) (Miller and Bartlett, 1996). Chakraborty and Meher, (2013) revealed that the release velocity of the ball during the shot varies in the range of 4.24-7.06 m/s in their measurements taken by being used a camera system. The release velocity of the ball is higher for shots from the 3-point line compared to other shots. In a study carried out to observe the effect of sprint on the kinematics of 3PS in basketball, the release velocity of the ball was measured as 7.77 m/s (Podmenik et al., 2017). In another study, the release velocity of the ball that is from behind the 3-point line (6.75 m) was determined as 5.85 m/s on average (Slawinski et al., 2018). In a study about the relationship between individual oscillation variability in basketball with distance and shooting performance, Slegers et al., (2021) determined the average release velocity of the ball as 3 m/s during 3PS. Louis et al., (2018) conducted a study in which the release velocity of the ball was 7.84 m/s.

In our study, an optimization study on the performance of a shooting which is from the 3-point line was presented by combining the ball release parameters (height, the release velocity, and the release angle of the ball) in the MSC Adams/View environment. In the study, firstly, the exact dimensions of FIBA basketball court were visualized in the Adams/View (Adams MSC., 2020). The height calculated by considering the player's height (H), jump height (H_{JA}) and joint angles is the release height value of the ball. Height is defined as the first design variable. Then, the angle and velocity information in accordance with the values of the release velocity and angle of the ball during 3PS in the literature were defined to the Adams/View environment as the other design variables. A measurement was taken for the distance between the position of the ball at the time of release and the basket. An objective defined by the measurement as the optimization output was created by using the Design Create Objective tool. Finally, an optimization study was carried out in the Adams/Insight module to give an answer for the three design variables (the release height, the release angle, and the release velocity of the ball). We hypothesized that the obtained results would give us answers to the following questions: At what angle can a released ball reach the ring for a 3-pointer? Which angle can a dropped ball reach to the basket for 3PS? Which velocity and angle are necessary to be a successful 3PS in case of a player who has certain height throwing the ball? The study presented here is carried out to bring an interpretation to basketball from an engineering point of view.

This paper is organized in way of presenting how the ball release parameters are determined, the optimization study, results, and discussions after the introduction.

3. Methods

2.1. Basketball Court and Ball Release Parameters

In this study, an optimization study was carried out based on the ball release parameters (the release height, the release velocity and the release angle of the ball) for 3PS. In the study, firstly, basketball court dimensions in FIBA (International Basketball Federation, 2020) standards were visualized in the simulation environment. As it can be seen in Figure 2, the court dimensions in FIBA standards are 28 x 15 meters. The height of the basket from the ground is 3.05 meters, and the diameter of the basket is 0.45 m (at the top of Figure 2). In FIBA standards, the 3-point line is drawn 6.6 meters from the center of the basket to the corners and 6.75 meters across. Also, ball number 7 having a circumference of 0.75 m, a diameter of 0.24 m and a weight of 0.575 kg was used for 3PS. paper is organized in way of presenting how the ball release parameters are determined, the optimization study, results, and discussions after the introduction.

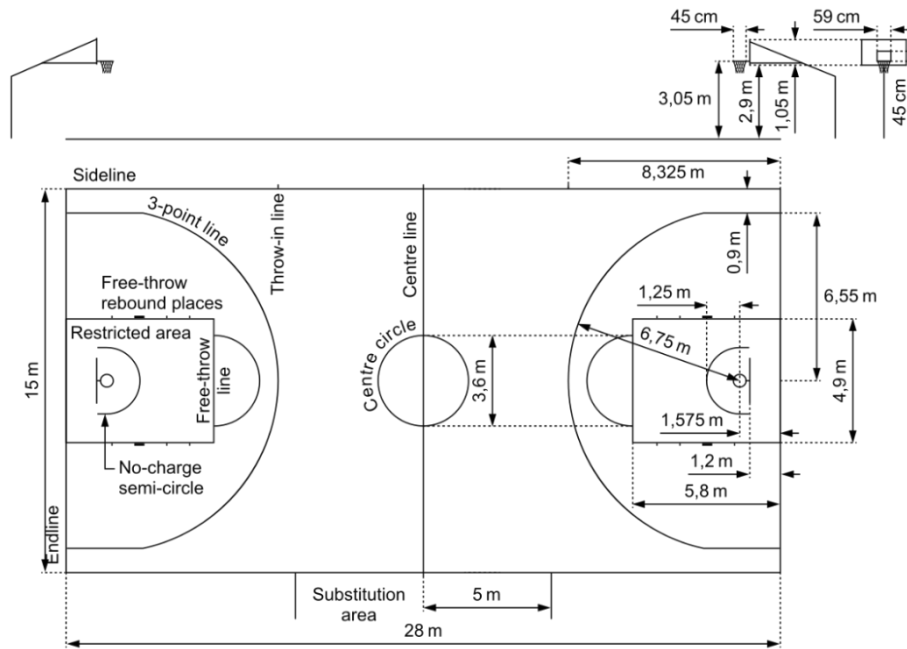


Figure 2. Basketball court dimensions in FIBA standards (International Basketball Federation, 2020)

In basketball, to consider a shot as a 3PS, it is necessary that this shot should be thrown behind the 3-point line. If the player's foot touches the 3-point line, his shot is not accepted as 3 points. In the optimization study, the shot that is thrown is shown in way of considering it as 3 points shot.

2.2. Release Height of the Ball

One of the most important factors determining the success of shooting in basketball is the release height of the ball (Hamilton and Reinschmidt, 1997). The release height of the ball depends mainly on many factors: The player's height, his jumping ability and the player's shooting characteristics.

Height is an important element in the basketball game. No matter how talented the short players are, it is difficult to maintain continuity in this game. Because tall players are more effective in catching the ball, rebounding and blocking thanks to their height and arm length. The increase in the length of the body limbs of the tall players in proportion to their height gives these players an advantage. Dirillis et al., (1964) generalized the relationship between the lengths of human body parts and human height (H) as it is shown in Figure 3. In other words, as human height increases, the other limb lengths increase according to the coefficients shown in the figure. They have the advantage of releasing the ball higher since taller players have long arms. The limb lengths, which vary depending on the human height, will be used to calculate the release height of the ball.

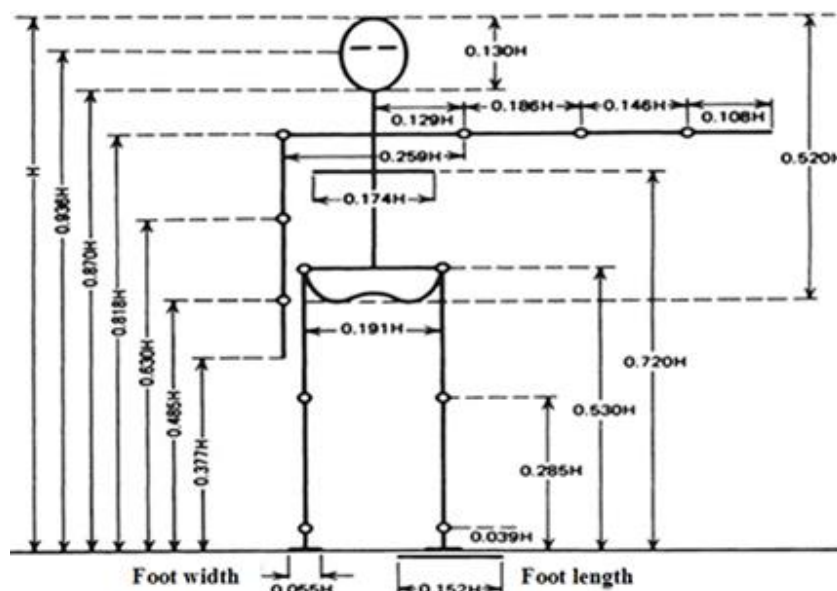


Figure 3. Length of other body parts relative to human height (Dirillis et al., 1964)

Jumping is one of the most basic movements performed by basketball players. The jump is used for different purposes such as blocking, rebounding, stealing and shooting. In basketball, the jumping ability of players directly affects the release height of the ball (Okazaki and Rodacki, 2015). Different studies have been carried out in the literature to reveal the relationship between the height of the players and their jump height. In these studies, the counter movement jump (CMJ) movement is seen as a useful tool that can be used to predict the jumping ability in basketball (Struzik and Zawadzki, 2013). Altavilla et al., (2018) measured the jump height as 0.432 m for 40 basketball players with an average height of 1.954 m. Struzik and Zawadzki, (2013) revealed that basketball players with an average height of 1.931 m can jump to a height of 0.368 m. Ziv et al., (2010) wrote a review article to compare the vertical jump performance of male and female basketball players. In this study, it is summarized that the jump height is 0.22-0.48 m for female athletes and 0.40-0.75 m for male athletes.

Multiple factors must be technically brought together for a successful 3PS in basketball. During 3PS, the joint angle of the player's lower and upper limbs changes depending on the player's shooting technique. Since 3PS is a long-distance shot, the joint angles differ according to the player's height. Miller and Bartlett, (1996) found the angles of the shoulder and elbow joints as 124° and 135° for guards, 131° and 143° for forwards, and 115° and 143° for centers, respectively during the shooting from 6.40 m. Loise et al., (2018) calculated the angles of the player's ankle, knee, hip shoulder, elbow and wrist joints as 111° , 164° , 189° , 105° , 185° and 141° , respectively at the moment the ball is thrown during 3PS. Elliot and White, (1989) measured the ankle, knee and hip shoulder, elbow, and wrist joint angles as 143.6° , 166.5° , 178.9° , 107.3° , 129.9° , and 208.1° , respectively, in the ball-release position during 10 3-point shooting. As can be seen in the literature, the joint angles of the players vary during 3PS.

In the optimization study that will be done the release height of the ball will be defined as a variable input. As it can be seen in the literature studies, the height varies with three parameters: The jump height, the joint angles and the height of the player. In this study, the release height of the ball (H_{RH}) was determined as follows. The players who use 3PS at most in basketball are shooting guards. These players' average height is 1.92 m (Zarić et al., 2020). In this study, it is assumed that the shooting guards have a minimum height of 1.86 m and a maximum height of 1.98 m. Then, body limb lengths were calculated according to the coefficients generalized by Dirillis et al., (1964). A height value was calculated by considering the joint angles in the literature during 3PS. The release height of the ball (H_{RH}) was found by adding an average of 40 cm jump height (h_{jh}) to calculated height value. The joint angles at the time of ball release and the calculated release height of the ball for a 1.86 m player are shown in Figure 4a and 4b. It should be emphasized here that the joint angles and jumping ability of the player vary according to the shooting situation and physical characteristics of the player. In this study, since an optimization study will be carried out according to the ball release parameters, the release height of the ball was determined by taking into account the average values.

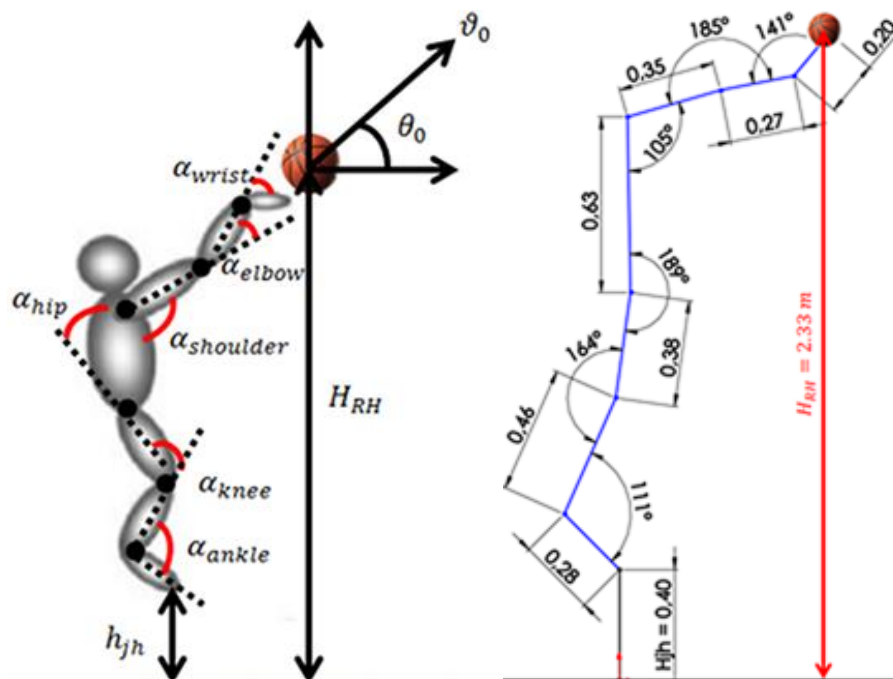


Figure 4. (a) The joint angles at the time of ball release and (b) the calculated release height of the ball for a 1.86 m player

2.3. Release Velocity of the Ball

The release velocity of the ball during the shooting in basketball is one of the important parameters that directly affect the success of the shot. Therefore, it is important that the ball is thrown at a suitable velocity. It has been revealed in literature studies that the release velocity of the ball during 3PS changes at velocities of 5.85–8.71 m/s. The optimization study will be carried out for two different 3 points shots, from the corner and opposite of the basket. Therefore, the release velocity of the ball during 3PS was taken at velocities varying between 5.75 m/s and 8.75 m/s. The velocity value was determined as 0.5 m/s in way of being 5.75 m/s to 8.75 m/s increase.

2.4. Release Angle of the Ball

In literature studies, one of the parameters that affect the successful releasing of the ball to the basket is the release angle of the ball. Figure 5 shows the release angle of the ball and this angle value for 3PS was determined at values ranging from 49.7° to 51.1° in literature studies. Hence, the release angle of the ball in the optimization study will be taken as between 45° and 53° in way of being 0.1° increase to be compatible with the literature studies.

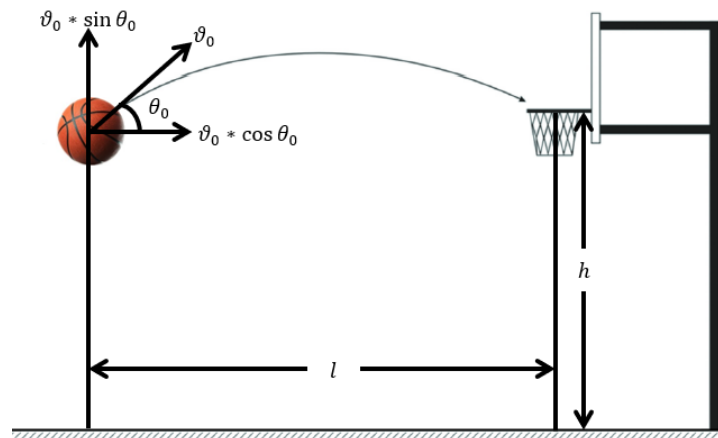


Figure 5. The conceptualization of the release angle and velocity of the ball (Przednowek et al., 2018)

Considering the releasing situation as in Figure 5, the trajectory of the ball is parabola. Here, the distance between the center of the basket and the point of the ball is l and the height of the basket from the ground is h . The velocity value required for a given θ_0 angle value can be found with the help of the equations given in (Halliday et al., 2013).

3. Optimization Study

In this study, an optimization study will be carried out depending on the ball release parameters for 3PS. For optimization study, the semi-basketball court in FIBA standards was visualized primarily in the Adams/View environment (Adams MSC., 2020). Figure 6 shows the top and isometric view of the semi-basketball court. The 3-point line is determined according to FIBA standards, and it is modelled as 6.6 m from the basket to the corners and 6.75 m from the front. The height of the basket from the ground was taken as 3.05 m and the diameter of the basket was taken as 0.45 m.

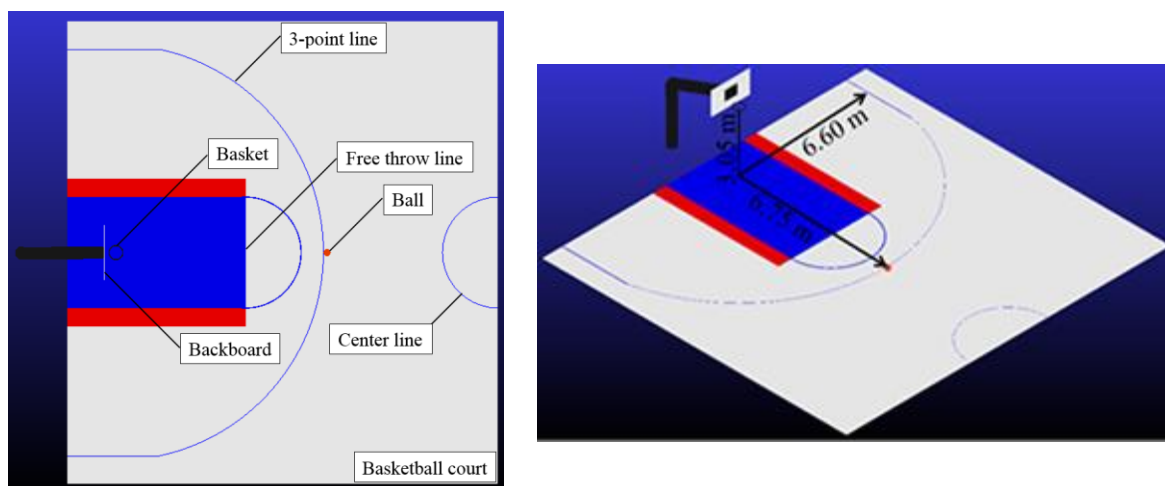


Figure 6. Top and isometric view of the semi-basketball court visualized in Adams/View

After modelling the basketball court, design variables are needed for optimization study. There are 3 design variables; the release height, release the velocity and the release angle of the ball. These variables can be defined by using the Create a Design Variable tool in the Adams/View Design Exploration menu. There are different options for entering different value ranges for design variables in the Design Variable tool. In this study, the maximum and minimum values of the design variables were entered by using the option of “absolute min and max values” definition. The release velocity and the release angle of the ball are defined based on studies in literature. The release height of the ball was calculated as it was explained in Chapter 2. The max., min. and standard values of the design variables were entered in the Design Variable tool as it is shown in Table 1. The standard value in the Design Variable tool is the value assigned for the initial simulation. The standard values of the design variables were accepted as the average of the minimum and maximum values. The Design Variable tool allows assigning any number of values between the minimum and maximum values of the design variables. Here, to reduce the number of analyzes, values are assigned in way of having the increase of the velocity as 0.25 m/s, the increase of angle as 1° and the increase of height as 0.01 m. The wind effect was ignored in the optimization study (Zhiwen et al., 2017).

Table 1. Standard, max. and min. values of design variables

Design Variable	Standard Value	Min. Value	Max. Value
Height (m)	1.92	1.86	1.98
Velocity (m/s)	7.25	5.75	8.75
Angle (degree)	45	40	50

The potential response of the optimization study must be determined in advance. Therefore, before the optimization study was carried out, an objective creation was done. The objective was created by using the Create Design Objective tool found in Adams/View Design Exploration. It should be specified how the objective was created in the tool will be defined. Here, the objective is defined by a measurement. This measurement is the distance between the center of mass of the ball and the center of the basket. The measurement was taken by being used the point-to-point measurement tool in Adams/View Design Exploration. The created objective will appear as a potential response value or in other words, output value in the Adams/View Insight module.

Adams/View Insight is a module that allows multiple simulations while modeling (mscsoftware.com, 2010). The operating logic of the Insight module is shown in Figure 7. The optimization study will be carried out in the Insight module. Before switching to the Insight module, a simulation was conducted to test whether the model worked correctly or not for 3PS. The transition to the Insight module was made by using the Adams Insight Export tool in the Design Evaluation. The Insight module automatically brings up the predefined inputs and output. Insight environment offers you the opportunity to perform the optimization study by grouping the design variables (height, angle and velocity) as Factors and the output variable (objective) as Responses. The Design part in the Insight module shows the solution sets for the optimization study. In the optimization study, the DOE Response Surface research strategy in the Design Specification section was used. In the Model part, the relationship between the inputs and the output of the optimization study is determined. The Insight module allows to set the level of relationship between inputs and outputs as Linear, Interactions, Quadratic and Cubic. In this study, Linear Modeling was chosen. When an increment of 1° is taken for the angle, 0.25 m/s for the velocity, and 0.01 m for the height, 1859 different combinations emerge. The Work Space section shows the combinations created for the three design variables. The answer of output variable is obtained by trying each combination one by one. After all these steps, the simulation process was started by using the Run command and the results were saved as .req.

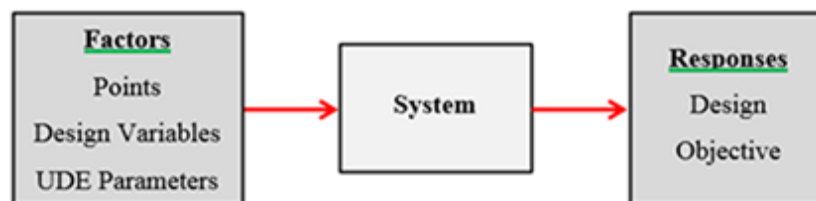


Figure 7. The operating logic of the Insight module

4. Results

In this study, an optimization study is carried out for 3PS by combining the ball release parameters. 3PS is made from across the basket. While the design variables of the release velocity and the release angle of the ball were taken from the literature, the ball release height is calculated depending on the joint angles, jump height and the height of the player.

The Adams/Insight module combines design variables to give a response (objective). In this study, the height, velocity and angle design variables are entered to the Insight module as inputs, while the distance of the ball to the basket is obtained as the response output. Figure 8 shows the response output (objective) for the first 22 combinations of 1859 combinations which depending on the design variables. The Work Space environment gives the output value for each combination of design variables. The table here can be interpreted as follows: When the release angle of the ball is 40°, the release height of the ball is 1.86 m and the release velocity of the ball is 8.75 m/s, the distance of the ball from the basket is 0.12073 m. That is, when a player having a height of 1.86 m releases the ball into the basket at the specified angle and velocity, this 3PS can be counted as a goal.

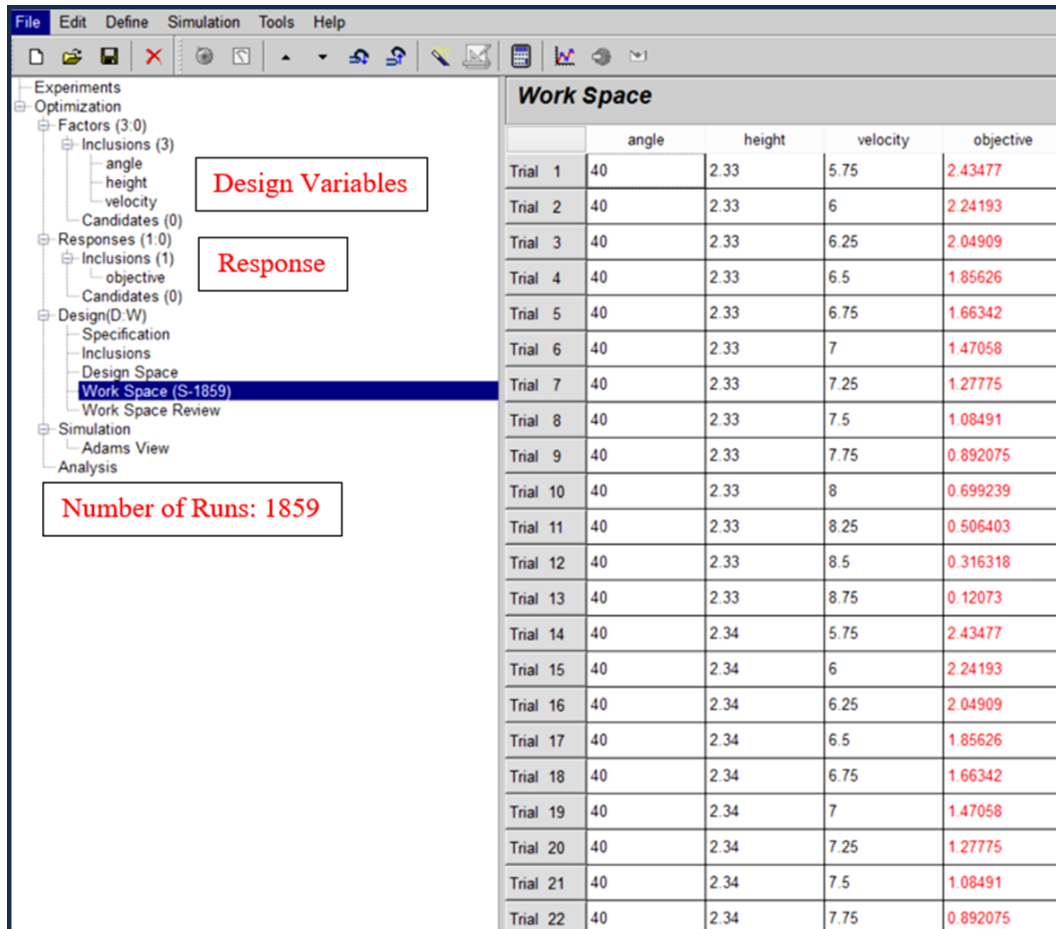


Figure 8. Design variables, response and the first 22 combinations in the Insight module

1859 combinations created with ball release parameters are tried one by one in Adams/Insight module. The response output of the 1859 iteration namely, the distance of the released ball to the basket, is shown in Figure 9. The goal here is to get the ball into the basket. In other words, the output response is close to zero. It is seen that the response output takes values close to zero for different values of the ball release parameters.

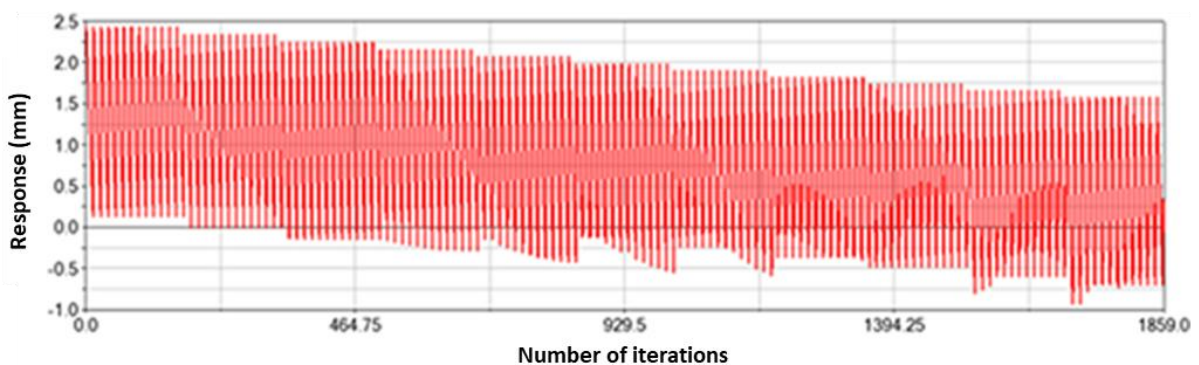


Figure 9. The response obtained for 1859 Iteration.

The Adams/Insight module establishes a relationship between the design variables and the output variable. If a correct mathematical expression can be obtained between the inputs and the output, there is no need to optimize for different intermediate values. As it is stated before, the order of the relationship between inputs and output is determined as Linear in this study. The mathematical expression for Linear modeling is given in Equation 7. The unknown coefficients in this equation are given in the Term Coefficients section as a result of the optimization. The values obtained are: $a_1 = 10.539$, $a_2 = -0.091032$, $a_3 = -0.085506$, $a_4 = -0.75166$ ve $e = -0.05833$.

$$R = a_1 + a_2 * F_1 + a_3 * F_2 + a_4 * F_3 + e \quad (1)$$

Here:

F_1 : The value of the first factor,

F_2 : The value of the second factor,

F_3 : The value of the third factor,

a_{1-4} : Coefficient values calculated by the optimization,

e : Error value minimized by the optimization,

R : response value.

According to the output response obtained as a result of the optimization performed, the release velocity and angle of the ball were determined for the players having different heights (1.86-1.98 m). Figure 10 shows the release angle and velocity values of the ball and the response value versus the length. Accordingly, when a player having height of 1.86 m shoots a 3-point field goal at an angle of 40° and a velocity of 5.75 m/s, the ball remains at a distance of 2.43477 m from the basket.

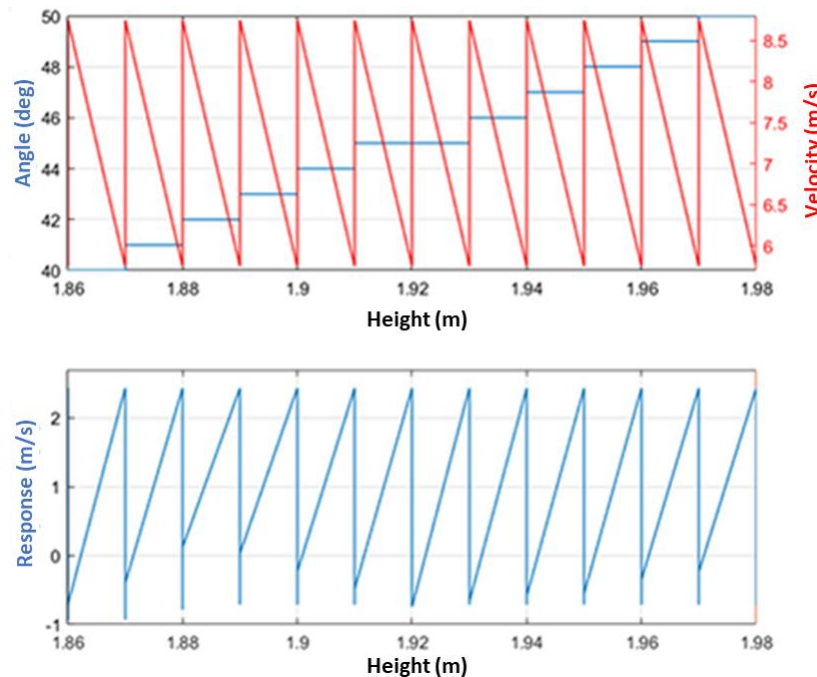


Figure 10. The release angle and the release velocity of the ball versus the height of the player graph and the response (objective) versus the height of the player graph

5. Discussion and Conclusion

The study presented here is an optimization study in the Adams/Insight module by combining ball release parameters. The angle and velocity design parameters are taken in accordance with the literature (Miller and Bartlett, 1996; Chakraborty and Meher, 2013; Çelik et al., 2013; Slegers et al., 2021; Louis et al., 2018). The height parameter is calculated according to the player's height, joint angles and jump height. Essentially, as in the studies presented in the literature (Štirn et al., 2019; Podmenik et al., 2017; Li et al., 2021; Slawinski et al., 2018; Miller and Bartlett, 1996), the height of the player at the moment of releasing the ball should be measured with different measurement techniques. Because the height of the basketball player's ball release depends on many factors such as releasing style, joint angles and jumping ability, as it is emphasized in the literature. However, the study presented here is an optimization study for the initial phase. For this reason, while the height of the player is being calculated, approaches in the literature were used.

They are the guard players who use the 3-point shot the most in basketball. These players have an average height of 1.92 m (H). With the study, it is revealed that a guard player with an average height of 1.92 m can shoot successfully at what speed and angle when he releases the ball. In other words, it can be said that a successful basketball throw can be achieved when a player with a height of 1.92 m shoots with a 45° release angle and 8.75 m/s release velocity. It is seen that the success of the 3-point shot in basketball will increase when the ball is thrown with the appropriate ball releasing parameters.

The optimization study can reveal that a player whose throw height can be determined can make a successful shot if he releases the ball at what speed and angle. Optimization work will help to achieve a high success rate in 3-point shots in basketball.

In future studies, during 3PS, the release height of the basketball player will be found with different measurement systems, so a more realistic optimization study will be carried out in the future. Also, there will be a focus on the study of the 2-point shooting in basketball or the different hitting styles in the game of tennis.

Supplementary Data

Table S1 Values of the response (objective)
(XLXS)

Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

References

- ADAMS MSC., 2020. Adams basic full simulation package. Available from www.mscsoftware.com.
- Altavilla, G., D'isanto T., Di Tore P.A., 2018. Anthropometrics characteristics and jumping ability in basketball. Supplementary Issue: Spring Conferences of Sports Science. Costa Blanca Sports Science Week, 26-28 April 2018. Calpe. Alicante, Spain.
- Boddington, B.J., Cripps, A.J., Scanlan, A.T., Spiteri, T., 2019. The validity and reliability of the basketball jump shooting accuracy test. *Journal of sports sciences*, 37(14): 1648-1654.
- Chakraborty, B., Meher, S., 2013. A trajectory-based ball detection and tracking system with applications to shooting angle and velocity estimation in basketball videos. 2013 IEEE 2013 Annual IEEE India Conference (INDICON), 12-15 December, Mumbai, India.
- Çelik, E., Alptekin, A., Kılıç, Ö., 2013. Basketbolda Eski ve Yeni Üç Sayı Atış Çizgilerinden Kullanılan Başarılı Atışların Kinematik Analizi. *Pamukkale Journal of Sport Sciences*, 4(4): 67-77.
- Drillis, R., Contini, R., 1964. Bluestein M. Body segment parameters. *Artificial limbs*, 8(1): 44-66.
- Elliott, B., White, E., 1989. A kinematic and kinetic analysis of the female two point and three-point jump shots in basketball. *Australian Journal of Science and Medicine Sport*, 21(2): 7-11.
- Elliott, B., 1992. A Kinematic comparison of the male and female two point and three-point jump shots in basketball. *Australian Journal of Science and Medicine Sport*, 24(4): 11-18.
- Halliday, D., 2013. Resnick R, Walker J. *Fundamentals of Physics*. John Wiley & Sons.
- Hamilton, G.R., Reinschmidt, C., 1997. Optimal trajectory for the basketball free throw. *Journal of sports sciences*, 5(5): 491-504.
- https://simcompanion.mscsoftware.com/resources/sites/MSK/content/meta/DOCUMENTATION/9000/DOC9352/~secure/insight_md2010.
- International Basketball Federation (FIBA), 2020. Official Basketball Rules, <https://www.fiba.basketball/documents/official-basketball-rules/2020.pdf>.
- Knudson, D., 1993. Biomechanics of the basketball jump shot-Six key teaching points. *Journal of Physical Education, Recreation & Dance*, 64(2): 67-73.
- Li, F., Li, Z., Borović, I., Rupčić, T., Knjaz, D., 2021. Does fatigue affect the kinematics of shooting in female basketball? *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 21(5): 754-766.
- Louis, J., Dinu, D., Leguy, E., Jacquet, M., Slawinski, J., Tiollier, E., 2018. Effect of dehydration on performance and technique of three-point shooting in Elite Basketball. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 58(11): 1710-1711.
- Miller, S., Bartlett, R., 1996. The relationship between basketball shooting kinematics, distance and playing position. *Journal of sports sciences* 14(3): 243-253.
- Miller, S., Bartlett, R.M., 1993. The effects of increased shooting distance in the basketball jump shot. *Journal of sports sciences*, 11(4): 285-293.
- Okazaki, V.H.A., Rodacki, A.L., Satern, M.N., 2012. A review on the basketball jump shot. *Sports biomechanics*, 4(2): 190-205.
- Okazaki, V.H.A., Rodacki, A.L.F., 2021. Increased distance of shooting on basketball jump shot. *Journal of sports science & medicine*, 11(2): 231.
- Okubo, H., Hubbard, M., 2015. Kinematics of arm joint motions in basketball shooting. *Procedia Engineering*, 112: 443-448.
- Podmenik, N., Supej, M., Čoh, M., Erčulj, F., 2017. The effect of shooting range on the dynamics of limbs angular velocities of the basketball shot. *Kinesiology*, 49(1): 92-100.
- Przednowek, K., Krzeszowski, T., Przednowek, K.H., Lenik, P., 2018. A system for analyzing the basketball free throw trajectory based on particle swarm optimization. *Applied Sciences*, 8(11): 2090.

- Rojas, F.J., Cepero, M., Ona, A., Gutierrez, M., 2000. Kinematic adjustments in the basketball jump shot against an opponent. *Ergonomics*, 43(10): 1651-1660.
- Satti, S. 2004. "The perfect basketball shot." Spin. Vol. 2.
- Slawinski, J., Louis, J., Poli, J., Tiollier, E., Khazoom, C., Dinu, D., 2018. The effects of repeated sprints on the kinematics of 3-point shooting in basketball. *Journal of human kinetics*, 62(1): 5-14.
- Slegers, N., Lee, D., Wong, G., 2021. The Relationship of Intra-Individual Release Variability with Distance and Shooting Performance in Basketball. *Journal of Sports Science and Medicine*, 20(3): 508-515.
- Štirn, I., Nadja, P., Supej, M., Erčulj, F., 2019. Rotation of shoulder and hip axes during a basketball jump shot. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 19(2): 167-178.
- Struzik, A., Zawadzki, J., 2013. Leg stiffness during phases of countermovement and take-off in vertical jump. *Acta of bioengineering and biomechanics*, 15(2): 113-118.
- Zarić, I., Kukić, F., Jovičević, N., Zarić, M., Marković, M., Toskić, L., Dopsaj, M., 2020. Body height of elite basketball players: do taller basketball teams rank better at the FIBA World Cup?. *International journal of environmental research and public health*, 17(9): 3141.
- Zhiwen, W., Pengtao, W., Lianyuan, J., Bowen, T., Canlong, Z., Zhenghuan, H., 2017. Analysis of Influencing Factors of Shooting Rate Based on Trajectory Prediction of the Basketball, 14th Web Information Systems and Applications Conference (WISA) (pp. 176-180). IEEE.
- Zwierko, T., Popowczak, M., Woźniak, J., Rokita, A., 2017. Visual control in basketball shooting under exertion conditions. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 58(10): 1544-1553.
- Ziv, G., Lidor, R., 2010. Vertical jump in female and male basketball players—A review of observational and experimental studies. *Journal of science and medicine in sport*, 13(3): 332-339.



L TİPİ MATRİS YÖNTEMİ VE AHP YÖNTEMİ KULLANILARAK RİSKLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ: ÖRNEK BİR UYGULAMA

Onur DOĞAN^{1*}, Mustafa Özgür KESKİN²

¹Onur DOĞAN, Gümüşhane Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, İş Sağlığı ve Güvenliği Programı, Gümüşhane, Türkiye

² Mustafa Özgür KESKİN, Çukurova Üniversitesi, Karaisalı Meslek Yüksekokulu, İş Sağlığı ve Güvenliği Programı, Adana, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
Analytik Hiyerarşi Proses (AHP) Yöntemi, L Tipi Matris Yöntemi, Maden Güvenliği, İş Sağlığı ve Güvenliği.	L-Tipi matris (5x5) yöntemi, risklerin belirlenip skorlandığı, sebep sonuç ilişkilerinin değerlendirmeye dahil edildiği, uygulanması kolay bir yöntemdir. Çalışmanın analizinde kullanılan riskler bu yöntemle skorlanmıştır. Daha sonra skorlanan bu riskler Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinden olan Analitik Hiyerarşi Proses (AHP) yöntemi ile ağırlıklandırılmıştır. AHP, karar problemlerinin çözümünde kullanılan ve birden çok alternatif arasından en iyi olanın seçiminde kullanılan bir yöntemdir. AHP, objektif ve subjektif kararların sürece dahil edildiği ve analiz sonucunun tutarlı olup olmadığının kontrol edilebilmesine imkân vermesi açısından diğer yöntemlere nazaran daha avantajlı bir yöntemdir. Çalışmanın madencilik sektöründe yapılmasının önemli gerekçeleri; madencilik sektörünün çok tehlikeli iş kollarından olması, doğası gereği birçok riski barındırması, muhtemel risklerden çalışanların çoğu zaman toplu halde etkilenmeleri olmuştur. Yapılan analizin çözümünde Microsoft Excel kullanılmış ve her bir analiz sonucu tutarlı çıkmıştır. Yapılan analizde; “Önemli düzeyde riskler” arasında yapılan karşılaştırma sonucunda en yüksek öneme sahip kriter 0,3086 ile patlatma olmuştur. “Orta düzey riskler” arasında yapılan analiz sonucuna göre önem düzeyi en yüksek olan kriter 0,421 ile simba delici olmuştur. “Düşük seviyeli riskler” arasında yapılan karşılaştırma sonucuna göre önem düzeyi en yüksek kriter 0,2764 ile yeraltı çimento silosu olmuştur.

EVALUATION OF RISKS USING L-TYPE MATRIX METHOD AND AHP METHOD: A SAMPLE APPLICATION

Keywords	Abstract
Analytical Hierarchy Process Method, L-Type Matrix Method, Mine Safety, Occupational Health and Safety.	The L-Type matrix (5x5) method is an easy-to-apply method where risks are identified and scored, cause-effect relationships are included in the evaluation. The risks used in the analysis of the study were scored with this method. These risks, which were then scored, were weighted with the Analytical Hierarchy Process (AHP) method, which is one of the Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods. AHP is a method used in the solution of decision problems and used in choosing the best one among multiple alternatives. AHP is a more advantageous method compared to other methods in that it allows objective and subjective decisions to be included in the process and to check whether the analysis result is consistent or not. The most important reasons for conducting the study in the mining sector are; The mining industry is one of the most dangerous business lines, it has many risks due to its nature, and the employees are often collectively affected by possible risks. Microsoft Excel was used to solve the analysis and the results of each analysis were consistent. In the analysis made; As a result of the comparison made between “significant risks”, the criterion with the highest importance was explode with 0.3086. According to the results of the analysis made among the “medium level risks”, the criterion with the highest level of importance was simba drill with 0.421. According to the result of the comparison made between “low level risks”, the criterion with the highest level of importance was the underground cement silo with 0.2764.

* İlgili yazar / Corresponding author: onur.dogan5065@gmail.com, 05072265339

Alıntı / Cite

Doğan, O., Keskin, Keskin, M.Ö., (2023). L Tipi Matris Yöntemi ve AHP Yöntemi Kullanılarak Risklerin Değerlendirilmesi: Örnek Bir Uygulama, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(4), 1282-1293.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

O. DOĞAN, 0000-0001-8231-9872
M. Ö. KESKİN, 0000-0003-4717-5740

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	27.02.2023
Revizyon Tarihi / Revision Date	24.07.2023
Kabul Tarihi / Accepted Date	17.08.2023
Yayın Tarihi / Published Date	30.12.2023

EVALUATION OF RISKS USING L-TYPE MATRIX METHOD AND AHP METHOD: A SAMPLE APPLICATION

Onur DOĞAN^{1†}, Mustafa Özgür KESKİN²

¹ Gümüşhane University, Vocational School, Occupational Health and Safety Program, Gümüşhane, Turkey

Highlights

- The mining sector is one of the industries with the highest number of fatalities as a result of mass work accidents.
- By its very nature, it harbors many risks. Therefore, it is important to identify and eliminate risks.
- In this study, L Type Matrix (5X5) and AHP methods were used together.
- As a result of the analysis, risks were identified and then weighted according to their level of importance.

Graphical Abstract (If applicable)

Table. Consistency index of significant risks

Total	W	T/K	Average	Lamda Mak.
0,32	0,06	5,05	5,214	Consistency Index
1,20	0,23	5,2		1,054
1,67	0,31	5,4		RI
0,71	0,14	5,15		1,12
1,37	0,26	5,27		0.1>0,0941

Purpose and Scope

The most important issue that distinguishes the mining sector from other sectors is that the transformation of danger into risk often affects all employees. For this reason, mass deaths occur in work accidents, especially in underground mines.

Design/methodology/approach

In this study, L Type Matrix (5X5) method and Analytical Hierarchy Process method, which are classical and most widely used risk assessment methods, were used.

Findings

According to the result of the comparison made between “low level risks”, the criterion with the highest level of importance was the underground cement silo with 0.2764.

Research limitations/implications (if applicable)

The study is a hybrid study. Therefore, only some of the risks were included in the study. Researchers who want to conduct future studies can use risk assessment methods and multi-criteria decision-making methods that involve subjective decisions.

Originality

There is no study in the literature where L Type Matrix (5x5) and AHP method are used together in the mining sector.

[†] Corresponding author: onur.dogan5065@gmail.com, +90 507 226 5339

1. Giriş (Introduction)

Madencilik, dinamik yapıya sahip bir işkoludur ve yapısı gereği birçok riski içinde barındırmaktadır. Yüzeyle bulunan madenler için açık ocak işletme yöntemi uygulanırken, yer kabuğunun derinliklerinde bulunan madenler için yeraltı madencilik yöntemi uygulanmaktadır. Açık ocak üretim yönteminde çevresel faktörler birincil derece risk oluştururken, yeraltı madencilik faktörlerinde ise tehlikeli durumlar değişkenlik gösterebilmektedir.

Hemen hemen her yıl iş kazası ve meslek hastalığı sonucu birçok çalışanın ölüm, yaralanma ve hastalık durumu madencilik sektörünü en tehlikeli iş kollarından bir tanesi yapmıştır. 20. yüzyıldan sonra bazı ülkelerde her ne kadar güvenli sektör arasına girse de Türkiye'nin de dahil olduğu bazı ülkelerde halen tehlikeli ve risk oranı yüksek sektörlerden bir tanesidir (TMMOB Maden Mühendisleri Odası Raporu, 2021;1). Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO) verilerine göre iş kazalarının ve meslek hastalıklarının ekonomiye maliyeti %1-%4 oranındadır (ILO, 2020). Sosyal Güvenlik Kurumu'nun verilerine göre 2010-2019 yılları arasında Türkiye'de toplam 2.360.472 iş kazası yaşanmıştır. Bu kazalar sonucu 13.852 kişi yaşamını kaybetmiştir. Toplamda 6.400 çalışan meslek hastalığına yakalanmıştır (SGK, 2020). Gerekli sağlık ve güvenlik önlemlerinin alınması durumunda çalışanların meslek hastalıklarına yakalanmaları tamamen önlenabilir. Ancak bu öngörü iş kazaları için geçerli değildir. İş kazası bazen bir nedenden dolayı ortaya çıkarken bazı durumlarda ise bütünleşik bir şekilde ortaya çıkabilmektedir.

İşyerlerinde iş kazalarını önlemeye yönelik koruyucu ve önleyici birçok yöntem bulunmaktadır. İş sağlığı ve güvenliği eğitimi (kurum içi ve kurum dışı), risk değerlendirmeleri, kontrol listeleri, ADEP (acil durum planı) gibi uygulamalar bunlardan yalnızca birkaçıdır. Son yıllarda teknolojiye yaşanan büyük değişim birçok sektörde olduğu gibi madencilik sektörünü de etkilemiştir. Bu durum üretim kalitesini ve kapasitesini artırmada etkili olurken diğer taraftan mevcut risklere yenilerinin eklenmesine neden olmuştur. Her ne kadar geçmişten günümüze uygulanan koruyucu ve önleyici uygulamalar hayata geçirilmeye çalışılsa da benzer hususlardan kaynaklı kazalar yaşanmaya devam etmektedir. Yapılan çalışmada, risklerin tespit edilmesinde L Tipi Matris yöntemi kullanılmıştır. Tespit edilen riskler AHP yöntemi ile ağırlıklandırılmıştır. Böylelikle iş güvenliğinden sorumlu kişilerin tehlikeli durumların riske dönüşmesine karşı alacakları koruyucu ve önleyici tedbirlere öncelik verilmesi açısından avantaj sağlayacaktır. Literatürde bu yöntemlerin kullanıldığı birçok çalışma bulunmaktadır. Ancak iki yöntemin kullanılarak risklerin önceliklendirilmesine yönelik çalışmaya rastlanmamıştır. Bu noktada yapılan çalışmanın hem iş kazalarının önlenmesine hem de literatüre katkı sağlaması beklenmektedir.

2. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

2.1. L Tipi Matris Yöntemi (L Type Matrix Method)

İş yerlerinde üretimin ve iş güvenliğinin sürdürülebilir olması ancak güvenli bir çalışma ortamı ile sağlanabilir. Bu da iş güvenliği açısından uzman ve alanında uzmanlaşmış kişiler tarafından yapılmaktadır. İş güvenliği uzmanları iş yerlerinde kontrol listeleri ve risk değerlendirmeleri hazırlayarak tehlikeli durumların risklere dönüşmesine yönelik koruyucu ve önleyici tedbirleri hayata geçirirler.

Ortaya çıkma ihtimali bilinen ancak ne zaman, nasıl ve ne şekilde ortaya çıkacağı öngörülemez durumlara risk denilmektedir. Risklerin analizinde nicel ve nitel yöntemler kullanılmaktadır. Risk değerlendirmesinde asıl amaç, işletmenin hedeflerini gerçekleştirmesinin önündeki engelleri kaldırmak, alınacak önlemleri belirlemek ve uygulamaktır (Selçuk ve Selim, 2018). L tipi matris yöntemi, sebep/sonuç analizinde tercih edilen bir yöntemdir. Bu yöntemde risk değeri olayın yaratacağı olasılık bileşkesini ifade etmektedir. Hem şiddet hem de olasılık bileşenleri 1'den 5'e kadar numerik değerler alırlar. Risk değerleri de 1-25 arasında değişir (Soykan, 2018). Tablo 2.1'de değerlendiricilerin kullanmaları gereken şiddet derecelendirme skalasına (düzey ölçeği ve sayısal ifadelerin karşılıkları) yer verilmiştir.

Tablo 2.1. Şiddet derecelendirme skalası (Ünverdi ve Çetinyokuş, 2021)

Şiddet Derecelendirme	
Tanım	Düzey Ölçeği
İş saati kaybı yok, ilk yardım gerektiren	1 (Çok hafif)
İş günü kaybı yok, kalıcı etkisi olmayan ayakta tedavi, ilk yardım gerektiren	2 (Hafif)
Hafif yaralanma, yatarak tedavi gerektiren	3 (Orta)
Ciddi yaralanma, uzun süreli tedavi, meslek hastalığı	4 (Ciddi)
Ölüm, sürekli iş göremezlik	5 (Çok Ciddi)

Tablo 2.2'de değerlendiricilerin kullanmaları gereken olasılık skalasına (düzey ölçeği ve sayısal ifadelerin karşılıkları) yer verilmiştir.

Tablo 2.2. Olasılık skalası (Probability Scale) (Özkılıç, 2005)

Olasılık (İhtimal)	
Tanım	Düzey Ölçeği
Hemen hemen hiç	1 (Çok düşük)
Çok az (yılda bir kez)	2 (Düşük)
Az (yılda bir kez)	3 (Orta)
Sıklıkla (ayda bir)	4 (Yüksek)
Çok sıklıkla (haftada bir, her gün)	5 (Çok Yüksek)

L tipi matris yönteminde "Risk= Şiddet x Olasılık" formülü kullanılarak risk skorları hesaplanır (Özkılıç, 2005). Risklerin kabul edilebilir düzeylerinin belirlenmesinde Tablo 2.3 dikkate alınır. Buna göre, risk skoru 1 yeşil (önemsiz), 2-6 arası yeşil (kabul edilebilir düzey), 8-12 arası sarı (orta düzey), 15-20 arası kırmızı (yüksek düzey), 25 kırmızı (kabul edilemeyen düzey) olarak belirlenmektedir (Keskin vd., 2020; Özkılıç, 2005).

Tablo 2.3. L tipi matris (L Type Matrix)(Özkılıç, 2005)

Risk: Olasılık x Şiddet			Şiddet				
			Çok ciddi	Ciddi	Orta	Hafif	Çok hafif
			5	4	3	2	1
Olasılık	Çok yüksek	5	25	20	15	10	5
	Yüksek	4	20	16	12	8	4
	Orta	3	15	12	9	6	3
	Küçük	2	10	8	6	4	2
	Çok Küçük	1	5	4	3	2	1

Literatürde L tipi matris yöntemi kullanılarak yapılmış birçok çalışma bulunmaktadır. Korkmaz (2020) L Tipi Matris yöntemi ve Fine Kinney yöntemini kullanarak yapı makinelerinde riskleri değerlendirmiştir. Çalışma sonucunda iki farklı yöntem ile yapılan çalışma sonucunu karşılaştırarak önleyici ve düzenleyici birtakım önerilerde bulunmuştur. Keskin vd. (2020) bir yeraltı metalik maden işletmesinin üretim, cevher çıkarma ve nakliyat aşamalarında risk değerlendirmesi yapmışlardır. Selçuk ve Selim (2018) mücevherat sektöründe L tipi matris yöntemini kullanmışlardır. Çalışmada atölye çalışanlarının karşılaşabilecekleri risklere karşı çalışanları bilinçlendirmek ve güvenli bir çalışma ortamı sağlamak hedeflenmiştir. Başar (2019), Tavas Bahçeköy Olivin üretim tesisinde iş güvenliğindeki riskleri L Tipi Matris yöntemi ile değerlendirmiştir. Maiti (2013), yeraltı maden çalışanlarını uzmanlık alanları ve çalıştıkları bölgelerin karakteristik özelliklerine göre gruplandırmış ve lojistik regresyon modeline göre bu grupların risk endekslerini değerlendirmiştir. Vermaas ve ark. (2007), gürültüye maruz kalan altın madeni çalışanlarının işitme kayıplarını ve gürültü sınır değerlerini karşılaştırmışlardır. Çalışma sonucunda, gürültüye bağlı işitme kaybı cihaz ayarlamaları farklı olsa bile sonuçların, gürültü maruziyet sınır ve eylem değer aralığında olduğunu tespit etmişlerdir. Tezölmez (2019) bir yeraltı barit işletmesinde gürültü ile titreşim maruziyetlerini değerlendirmiş ve L Tipi Matris yöntemini kullanarak risk değerlendirmesi yapmıştır. Tespit edilen riskler tehlikenin kaynağına, şiddetine ve düzeylerine göre gruplandırılmış ve analiz edilmiştir. Şafak (2016), açık ocak işletmelerinde delme-patlatma, yükleme- nakliye aşamalarında Çeklist ve L Tipi Matris yöntemini kullanmıştır. Çalışma sonucunda risklerin kabul edilebilir düzeylere indirilebilmesi için birtakım önerilerde bulunmuştur. Ünverdi ve Çetinyokuş (2021), bir kamu kurumunda bulunan asbest uygulama merkezi ve SEM laboratuvarında L tipi matris yöntemi ile risk değerlendirmesi yapmışlardır. Çalışma sonucunda toplam 13 risk tespit edilmiş olup bu risklerden yalnızca %7,6'sının kabul edilebilir seviyede olduğu, ilgili bölümlerin riskli olduğu tespit edilmiştir.

2.2. Analitik Hiyerarşi Proses Yöntemi (Analytic Hierarchy Process Method)

AHP yöntemi 1970 yılında Thomas L. Saaty tarafından seçim problemlerinde kullanılan Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinden bir tanesidir. AHP, alternatifler arasından seçim yapılırken tüm önceliklerin değerlendirmeye dahil edildiği, matematiksel bir yöntemdir (Yılmaz ve Dağdeviren, 2010). Bir karar probleminin yapılandırılması üç seviyeden oluşan bir hiyerarşiden oluşur. Birinci aşamada kararın en üst seviye yani hedef belirlenir. Ardından hedefe bağlı kriterler ve kriterlere bağlı alt kriterlerden oluşmaktadır (Saaty ve Vargas, 2001). AHP yönteminin çözümünde ilk olarak karar problemi tanımlanır ve model kurulumu yapılır. Daha sonra, modelde belirlenen kriterler arasında ikili matrisler düzenlenerek karşılaştırma matrisi oluşturulur (Saaty ve Kearns, 1985). Devamında normalize edilmiş matris hesaplanır. Son olarak tutarlılık indeksi'ne bakılır. Tablo 2.1'de AHP'nin çözümünde kullanılan önem ölçeği görülmektedir.

Tablo 2.1. Karşılaştırmada kullanılan önem ölçeği (Importance Scale Used in Comparison) (Saaty, 2008)

Önem	Tanım	Açıklama
1	Eşit Öneme Sahip	Her iki seçenekte eşit değerde önem sahip
2	Zayıf ya da hafif	
3	Biraz önemli	Bir ölçüt değerine göre biraz daha önemli sayılmıştır
4	Makul artı	
5	Fazla önemli	Bir ölçüt değerine göre çok daha önemli sayılmış
6	Güçlü artı	
7	Çok fazla önemli	Ölçüt diğer ölçüte göre kesinlikle çok fazla önemli sayılmıştır
8	Çok çok güçlü	
9	Son derece önemli	Bir ölçütün değerine göre son derece önemli olduğu çeşitli bilgilere dayandırılmıştır
Karşılıklı Değerler	i,j karşılaştırılırken bir değer (x) atanmış ise; j/i ile karşılaştırılırken atanacak değer (1/x) olacaktır.	

Tablo 2.2'de ise kriterler arasında yapılan karşılaştırma matrisi görülmektedir. Kriterler arasında yapılan karşılaştırma $n(n-1)/2$ kadar yapılır. Hesaplama 1 nolu eşitlik kullanılır.

Tablo 2.2. Kriterlerin karşılaştırma matrisi (Criteria Comparison Matrix) (Saaty, 1980)

	Kriter-1	Kriter-2	Kriter-...	Kriter-n
Kriter-1	K_1/K_1	K_1/K_2	K_1/K_n
Kriter-2	K_2/K_1	K_2/K_2	K_2/K_n
Kriter...	
Kriter-n	K_n/K_1	K_n/K_2	K_n/K_n

$$a'_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (1)$$

Normalize edilmiş matrisin hesaplanmasında 2 nolu eşitlik kullanılır. Bu hesaplama ile aynı zamanda her bir kriterin kriter ağırlıkları elde edilir.

$$w_i = \left(\frac{1}{n} \right) \sum_{j=1}^n a'_{ij} \quad (2)$$

$i,j= 1,2,3,\dots,n$

λ_{\max} değerinin hesaplanmasında 3 nolu eşitlik kullanılır.

$$\lambda_{\max} = \left(\frac{1}{n} \right) \sum_{i=1}^n \left(\frac{\sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot w_j}{w_i} \right) \quad (3)$$

Hesaplama uyum indeksinin hesaplanabilmesi için kriter sayısı dikkate alınarak rastgele indeks (RI) belirlenir (Tablo 2.3). Kriter sayısı (n: matrisin boyutu) dikkate alınarak rastgele indeks (RI) belirlenir. RI, yapılan çalışmada tutarlılığın değerlendirilmesi açısından önemlidir.

Tablo 2.3. Rastgele indeks (Random Index) (Güner, 2005).

n	1	2	3	4	5	6	7	8
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41

Uyum indeksinin (CI) hesaplanmasında 4 nolu eşitlik kullanılır.

$$CI = \frac{(\lambda_{\max} - n)}{(n-1)} \quad (4)$$

Tutarlılık indeksinin (CR) hesaplanmasında 5 nolu eşitlik kullanılır.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (5)$$

Analiz sonucunda Tutarlılık İndeksinin 0,1'den küçük olması karar vericilerinin yargılarının tutarlı olduğunu göstermektedir (Öner ve Ülengin, 1995). Literatürde AHP yöntemi ile ilgili yapılmış birçok çalışma bulunmaktadır. Kazakidis ve ark. (2004), yapmış oldukları çalışmada tasarım, parçalanma, maliyet, güvenlik ve kültür ana kriterlerini göz önünde bulundurarak tahkimat tasarımı, sondaj teknolojisi, yatırım, kuyu lokasyon seçimi ve madencilik risk planlaması gibi beş kriteri AHP yöntemini kullanarak bir yazılım programı ile analiz yapmışlardır. Doğan (2022), bir yeraltı metal maden işletmesindeki riskleri AHP yöntemi ile ağırlıklandırmıştır. Yavuz ve ark. (2008), Kütahya-Tunçbilek'te faaliyet gösteren bir maden işletmesinde ana nakliyat yoluna en uygun tahkimat seçimi için AHP yöntemini kullanmışlardır. Gökgöz ve ark. (2020), acil durum toplanma alanlarını AHP yöntemi ile değerlendirmişlerdir. Podgórski (2015), AHP yöntemini kullanarak iş sağlığı ve güvenliği performansını değerlendirmek amacıyla ana performans göstergelerini belirlemiştir. Wang ve ark. (2016), bir kömür madeninde risk değerlendirmesinde doğrusal olmayan bulanık AHP yöntemini kullanmışlardır. Çalışma kapsamında yönetsel, çevresel, bireysel ve operasyonel risk faktörleri ele alınmıştır. Golosinski (2001), bilişim ve internet teknolojilerinde yaygın kullanımının, madencilik ve diğer sektörlerde etkisini araştırmıştır. Yapılan çalışma sonucunda internet teknolojisinin madencilik sektöründe kullanılmasının verimliliği artıracığını öngörmüştür. Ebrahimabadı (2014), İran Tabas kömür madeni projesinde uygun tünel açma makinesi seçiminde bulanık AHP yöntemini kullanmıştır.

3. Bulgular (Findings)

Madencilik endüstrisi, toplumların gelişimine katkı sağlayan önemli sektörlerden bir tanesidir. Cevherin çıkarılmasından nihai ürüne dönüşmesine kadar birden çok süreç (delme, patlatma, zenginleştirme vb.) söz konusudur. Bu süreçler diğer sektörlerle nazaran daha düzenli, planlı, kontrollü ve kanıtlanmış üretim yöntemlerinin kullanılmasını gerektirmektedir. Çünkü üretim sürecini etkileyen her unsur çoğu zaman iş güvenliğini olumsuz yönde etkileyebilmektedir (Doğan, 2022). Örneğin açık ocak madenciliğinde, makine-ekipman, çalışan ve doğa koşulları en önemli faktörlerin başında gelmektedir. Diğer taraftan yeraltı madencilik faaliyetlerinde ise makine-ekipman, çalışan, cevher ve yantaşın yapısı, gaz ve toz varlığı gibi hususlar üretim sürecini ve iş güvenliği etkileyen faktörlerdir. Bu nedenle koruyucu, önleyici ve iyi saha uygulamaları uzman kişilerin gözetiminde, kontrollü şekilde hayata geçirilmesi önemlidir. Kontrol listeleri, risk değerlendirmesi ve acil durum eylem planları iş yerlerinde daha sağlıklı ve güvenli bir çalışma ortamı sağlamak için yapılan uygulamalardır. Yapılan çalışmada L Tipi Matris yöntemi, çok tehlikeli iş kollarından ve madenciliğin alt dallarından olan bir yeraltı maden işletmesine uygulanmıştır. Yapılan risk değerlendirmesi ile işletmenin tamamında toplam 180 risk (risk değerlendirmesi; işveren/vekili, iş güvenliği uzmanı, işyeri hekimi, çalışan temsilcisi tarafından yapılır) belirlenmiştir. Ancak çalışma, risklerin önceliklendirilmesi açısından hibrit bir yöntem olarak önerildiğinden yalnızca on üç risk (kriter) analizde kullanılmıştır (Tablo 3.1). AHP yönteminin analizinde kullanılan kriterler (riskler) L Tipi Matris Yönteminde belirlenen riskler arasından seçilmiştir. Katılımcılar bu seçimleri yaparken Tablo 2.1, Tablo 2.2 ve Tablo 2.3'te belirtilen hususları dikkate alarak yapmışlardır. Yapılan seçimlerin ortalaması alınarak hangi risklerin çalışmaya dahil edileceği belirlenmiştir. Daha sonra bu riskler AHP yöntemi ile ağırlıklandırılmıştır.

Tablo 3.1. Risk analiz tablosu (Risk Analysis Table)

RİSK DEĞERLENDİRME TABLOSU						RİSK DEĞERLENDİRME				
No	Faaliyet	Tehlike	Risk	Etkilenen Kişiler	Mevcut Durum	0	Ş	RS	Ö.S.	AHP
						0	Şiddet	Risk Değeri	Öncelik Sırası	W
A1	Hava Kapıları	Kapıların açık kalması, bozulması personel ve araç sıkışması	Temiz havayı yönlendirmede yaşanan aksaklık, ocak hava kalitesinin düşmesi ve patlama gibi durumların ortaya çıkmasına	Yetkili Çalışan	Çalışanlara eğitim verildi. Kapıların periyodik bakımları yapıldı.	5	4	20	5	0,0634
A2	Fanlar	Arıza ve elektrik kesintileri	Üretim durması, boğucu ve zehirli gaz varlığının artması, patlama ihtimali	Yetkili Çalışan	Yedek fan takviyesi yapılmış ve jeneratör dahil edilmiştir.	5	4	20	3	0,2306
A3	Patlama	Açık alevli lambalar, statik elektrik vb. durumlar	Patlayıcı belgesi olmayan kişilerin patlatma yapması, patlayıcı unsurların (gaz, toz vb.) ölçümünün yapılmaması	Yetkili Çalışan	Elektronik kapsül kullanımına geçilmesi	5	4	20	1	0,3086
A4	Trafo	Trafo yerine yetkisiz kişilerin girmesi	Yetkisiz kişilerden kaynaklanan iş kazaları diğer personelin kazaya maruz kalması	Yetkili Çalışan	Yetkisiz kişilerin trafo yerine girmesi engellenmektedir. Trafo Girişi kilitli tutulmaktadır. Gerçek zamanlı takip edilmeli.	5	4	20	4	0,1376
A5	Gaz Takip Sistemi	Yanlış lokasyona yerleştirilmesi ve kalibrasyon ayarlarının yapılmaması	Parlayıcı, patlatıcı gaz ve toz varlığının çalışan sağlığını ve güvenliğini riske atması	Yetkili Çalışan	Periyodik bakımları yapıldı ayrıca taşınabilir gaz ölçüm cihazları ile ara ara ölçüm yapılmakta	5	4	20	2	0,2598
B1	Simba Delici	Simba delicide elektrik kaçağı olması	Elektrik kablosunda Elektrik kaçağı durumunda yaralanma	Yetkili personel	Eğitim verildi.	3	4	12	1	0,421
B2	Bakım onarım	Kişisel koruyucu donanım kullanılmaması	Atölye personellerinin KKD'lerini kullanmaması sonucu olabilecek kazalar	Atölye personeli	Çalışanlara KKD'leri verilmiş olup personellerin kullanmaları sağlanmaktadır	3	4	12	3	0,275
B3	Jumbo Delici	Jumbo delicide elektrik kaçağı olması	Elektrik kablosunda Elektrik kaçağı durumunda yaralanma	Yetkili personel	Olası etkileri iş başı ve periyodik eğitimlerde görselle desteklenmiştir	3	4	12	2	0,304
C1	Yerüstü Stok sahası	Yükleme sırasında makine ve kamyonların yanında kişilerin bulunması.	KKD' siz kişilerin yükleme sırasında kazaya maruz kalması.	Saha içerisindeki tüm personel	Stok sahasında KKD'siz dolaşma yasaklanmıştır.	2	3	6	2	0,2562
C2	Yerüstü Stok sahası	Stok sahasında KKD siz kişilerin bulunması.	KKD' siz kişilerin yükleme sırasında kazaya maruz kalması	Saha içerisindeki tüm personel	Stok sahasında KKD'siz dolaşma yasaklanmıştır.	2	3	6	5	0,0800
C3	Yerüstü Bakım onarım	Atölyede bulunan tüplerin durumu	Tüplerde gaz kaçaklarından dolayı olabilecek patlama.	Atölye personeli ve tüm personel	Tüplerde çekvalf sistemleri mevcuttur.	2	3	6	3	0,2280
C4	Torna Makinası	Ayna siperliğinin bulunmaması	Makineden çıkan parçaların sıçrayıp işçiye zarar vermesi	İlgili personel	Siperlik bulunmaktadır	2	3	6	4	0,1594
C5	Yerüstü Çimento silosu	Elektrik düzeneğinin açıkta olması	Elektrik çarpması	İlgili personel	Priz kapakları mevcuttur. Kabinden kontrol amaçlı otomasyon sistemi kuruldu.	2	3	6	1	0,2764

Tablo 3.1'de risk değerlendirmesi sonucu çalışmaya dahil edilen risklere yer verilmiştir. A1, A2, A3, A4 ve A5 numaralar yüksek düzey risk, B1, B2 ve B3 orta düzey risk, C1, C2, C3, C4 ve C5 ise düşük düzey riski ifade etmektedir.

A. “Önem Düzeyi Yüksek Riskler” Arasında Yapılan Karşılaştırmalar: Analizin bu kısmında, kriterlerin karşılaştırılması, normalize edilmiş matrisi, tüm öncelikler vektörü ve tutarlılık indeks’leri hesaplanmış ve tablolar halinde (Tablo 3.2-Tablo 3.3.-Tablo 3.4.) belirtilmiştir. “Önem Düzeyi Yüksek Riskler” in hesaplanmasında kullanılan kriterler A-1, A-2 vb. şeklinde tanımlanmıştır.

Tablo 3.2.Önem düzeyi yüksek riskler arasında yapılan ikili karşılaştırma (Pairwise Comparison between High Severity Risks)

	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5
A-1	1,00	0,24	0,19	0,39	0,36
A-2	4,16	1,00	1,12	1,26	0,75
A-3	5,26	0,89	1,00	4,38	0,86
A-4	2,56	0,79	0,22	1,00	0,60
A-5	2,77	1,33	1,16	1,94	1,00
Toplam	15,75	4,25	3,69	8,97	3,57

Tablo 4.2’te her bir kriter arasında yapılan karşılaştırmalara yer verilmiştir. Tablo 3.3’te Normalize edilmiş matris hesaplanmıştır. Bu hesaplamada aynı zamanda her bir kriterin kriter ağırlıkları da hesaplanmıştır.

Tablo 3.3. Normalize edilmiş matris (Normalized Matrix)

	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	W
A-1	0,063	0,057	0,052	0,044	0,101	0,0634
A-2	0,264	0,235	0,304	0,14	0,21	0,2306
A-3	0,334	0,209	0,271	0,488	0,241	0,3086
A-4	0,163	0,186	0,059	0,112	0,168	0,1376
A-5	0,176	0,313	0,314	0,216	0,28	0,2598
Toplam	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Tablo 3.4’te, tüm öncelikler vektör hesabı sonuçları (tablo 3.2 ve tablo 3.3 kullanılarak elde edilir) kriter ağırlıklarına ayrı ayrı bölünür. Bu değerlerin ortalaması alınarak Lamda max. (asıl özdeğer) değeri hesaplanır. 4 nolu eşitlik kullanılarak consistency indeks (tutarlılık indeksi) hesaplanır. Elde edilen değer kriter sayısı dikkate alınarak rassal indekse (tablo 2.3) bölünür. 5 nolu eşitlik kullanılarak CR-Consistency Ratio (tutarlılık oranı) elde edilir. Yukarıda belirtilen adımlar yapılarak önem düzeyi en yüksek olan faaliyet 0,3086 değeri ile patlatma olmuştur. Önem düzeyi en düşük olan faaliyet ise 0,0634 kriter ağırlığı ile hava kapıları olmuştur.

Tablo 3.4. Önemli düzeydeki risklerin tutarlılık indeksi (Consistency Index of Significant Risks)

Toplam	W	T/K	Ort.	Lamda Mak.
0,32	0,06	5,05	5,214	Tutarlılık İndeksi
1,20	0,23	5,2		1,054
1,67	0,31	5,4		RI
0,71	0,14	5,15		1,12
1,37	0,26	5,27		0.1>0,0941

B. “Orta Düzey Riskler” Arasında Yapılan

Karşılaştırmalar: Analizin bu kısmında, kriterlerin karşılaştırılması, normalize edilmiş matris, tüm öncelikler vektörü ve tutarlılık indeksleri hesaplanmış ve tablolar halinde (Tablo 3.5-Tablo 3.6- Tablo 3.7) belirtilmiştir. “Orta Düzey Riskler” in hesaplanmasında kullanılan kriterler B-1, B-2 vb. şeklinde tanımlanmıştır.

Tablo 3.5. Orta düzeydeki riskler arasında yapılan ikili karşılaştırma (Pairwise Comparison between Moderate Risks)

	B1	B2	B3
B1	1	2,19	1
B2	0,456	1	1,26
B3	1	0,794	1
Toplam	2,456	3,984	3,26

Tablo 3.6’da normalize edilmiş matris ve her bir kriterin kriter ağırlığı hesaplanır. Kriter ağırlıkları her bir satırın ortalaması alınarak elde edilir. Bu göre Tablo 4.6 dikkate alındığında en yüksek ağırlığa sahip kriter 0,421 değeri ile B-1 olmuştur.

Tablo 3.6. Normalize edilmiş matris (Normalized Matrix)

	B-1	B-2	B-3	W
B-1	0,407	0,55	0,307	0,421
B-2	0,186	0,251	0,386	0,275
B-3	0,407	0,199	0,307	0,304
Toplam	1	1	1	1

Tablo 3.7’de orta düzey risklerin tutarlılık indeksi hesaplanmıştır. Yapılan karşılaştırma sonucu tutarlılık indeksi (CR) 0,1 değerinden düşük ve analiz sonucu tutarlı çıkmıştır. Bu sonuca göre önem düzeyi en yüksek olan faaliyet 0,421 değeri ile simba delici olmuştur.

Tablo 3.7. Orta düzeydeki riskler tutarlılık indeksi (Moderate Risks Consistency Index)

Toplam	W	T/K	Ort.	Lamda Max.
1,33	0,421	3,159	3,114	Tutarlılık İndeksi
0,85	0,275	3,091		0,057
0,94	0,304	3,092		RI
				0,585
				0.1>0,0974

C. “Düşük Düzey Riskler” Arasında Yapılan

Karşılaştırmalar: Analizin bu kısmında, kriterlerin karşılaştırılması, normalize edilmiş matris, tüm öncelikler vektörü ve tutarlılık indeksleri hesaplanmış ve tablolar halinde (Tablo 4.8.-Tablo 4.9- Tablo 4.10) belirtilmiştir. “Düşük Düzey Riskler “in hesaplanmasında kullanılan kriterler C-1, C-2... vb. şeklinde tanımlanmıştır.

Tablo 3.8’de her bir kriterin kendi arasında yapılan karşılaştırmaya yer verilmiştir. İki karşılaştırmada dikkat edilmesi gereken en önemli husus; karşılaştırmada katılımcıların vermiş olduğu cevapların geometrik ortalamasının alınmasıyla elde edilmesidir.

Tablo 3.8. Düşük düzeydeki riskler arasında yapılan ikili karşılaştırma (Pairwise Comparison between Low-Level Risks)

	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5
C-1	1,00	3,48	2,15	0,85	0,69
C-2	0,29	1,00	0,31	0,58	0,33
C-3	0,47	3,23	1,00	1,71	1,00
C-4	1,18	1,18	0,59	1,00	0,52
C-5	1,45	3,03	1,00	1,92	1,00
Toplam	4,38	11,92	5,05	6,06	3,54

Tablo 3.9’da normalize edilmiş matris ve her bir kriterin kriter ağırlık değeri verilmiştir. Kriter ağırlıkları her bir satırın ortalaması alınarak elde edilir. Bu göre en yüksek ağırlığa sahip kriter 0,2764 değeri ile yerüstü çimento faaliyeti olmuştur.

3.9. Normalize edilmiş matris (normalize edilmiş matris)

	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	W
C-1	0,228	0,292	0,426	0,14	0,195	0,2562
C-2	0,066	0,084	0,061	0,096	0,093	0,0800
C-3	0,107	0,271	0,198	0,282	0,282	0,2280
C-4	0,269	0,099	0,117	0,165	0,147	0,1594
C-5	0,331	0,254	0,198	0,317	0,282	0,2764
Toplam	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1

Tablo 3.10'da düşük düzey risklerin tutarlılık indeksi hesaplanmıştır. Yapılan karşılaştırma sonucu tutarlılık indeksi (CR) 0,1 değerinden düşük ve sonuç tutarlı çıkmıştır. Bu sonuca göre önem düzeyi en yüksek olan faaliyet 0,2764 değeri ile yerüstü çimento silosu olmuştur.

Tablo 3.10. Düşük düzeydeki risklerin tutarlılık indeksi (Consistency Index of Low Level Risks)

Toplam	W	T/K	Ort.	Lamda Max.
1,35	0,2562	5,27	5,166	Tutarlılık İndeksi
0,41	0,08	5,13		0,0415
1,16	0,228	5,09		RI
0,83	0,1594	5,21		1,12
1,42	0,2764	5,13		0.1>0,037

Tablo 3.4'te "Önem Düzeyi Yüksek Riskler" arasında yapılan ikili karşılaştırma sonucunun tutarlılık indeksi **0.1>0,0941** olarak hesaplanmıştır. Bu sonuç dikkate alındığında yapılan analiz tutarlı bulunmuştur. Tablo 3.3'te normalize edilmiş matris hesaplama sonucuna göre en yüksek ağırlığa sahip kriter A-3 (patlama) 0,3086 olmuştur. Yeraltı madencilik faaliyetlerinin yapıldığı yerlerde yanıcı ve patlayıcı gaz ve toz varlığı söz konusudur. Yeterli havalandırma yapılmadığı takdirde gaz ve toz patlamaları meydana gelebilmektedir. Bu nedenle, bu alanlarda sigara içilmesine, açık alevli lambaların ve statik elektrik oluşturan kaynakların kullanılmasına izin verilmemelidir. Ayrıca havalandırmada kullanılan ana fanların dışında yedek fanlar ve jeneratörler bulundurulmalıdır. Bu tedbirler hem üretimin hem de iş güvenliğinin sürdürülebilirliği açısından önemlidir. Analizin diğer sonucuna göre A-5 (gaz takip sistemi) 0,2598 en yüksek ağırlığa sahip ikinci kriter olmuştur. Gaz takip sistemleri tehlikeli lokasyonlarda çalışanlara gerek kalmaksızın ölçüm yapan cihazlardır. Hava akım hızı, sıcaklık, su varlığı, çarpma-ezilme gibi durumlar nedeniyle cihazlarda ve kalibrasyon ayarlarında bazen sorunlar yaşanabilmektedir. Bu nedenle çoğu kez çalışanların beraberinde manuel gaz ölçüm cihazı da bulundurmaları tavsiye edilir. Manuel veya taşınabilir gaz ölçüm cihazları ile gerçek zamanlı veriler karşılaştırılarak sistemde okunan gaz ölçüm değerlerinin doğruluğu teyit edilebilir (Doğan, 2022). Buna ek olarak yeraltı maden takip sistemlerine gaz ölçümü yapan akıllı cihazlar entegre edilebilir. Böylelikle birçok noktadan anlık veri toplanarak acil durum hallerinde bütün maden anlık bir şekilde uyarılabilir. Bu durum çalışanlara tehlike geçene kadar güvenli alanlara sığınmaları için ciddi avantaj sağlayacaktır. A-2 (fanlar) 0,2306 en yüksek ağırlığa sahip üçüncü kriter olmuştur. Yeraltı madenlerinde üretimin güvenli şekilde sağlanabilmesi için oksijen varlığının çalışılabilir sınır (%19,5-22,5 oksijen aralığı) değerler aralığında olması gerekmektedir. Yeraltı madencilik faaliyetlerinin yapıldığı yerler kısıtlı alanlardır. Temiz hava girişinin olmadığı yerlerde çalışmak veya bulunmak çok tehlikelidir. Çalışanlar, makine ve ekipmanlar için temiz hava temini fanlar ile sağlanır. Fanlar, üretimin yapıldığı yerlere, kirli havanın geçtiği veya önceden belirlenen noktalara yerleştirilirler. Ana fan ve enerji akışında yaşanabilecek sorunlara karşı, yedek fan ve jeneratörler kullanılmalıdır. Analizin bir diğer sonucuna göre A-4 (Trafo) 0,1376 en yüksek ağırlıklı dördüncü kriter olmuştur. Trafo, elektrik akım şiddetinin gerilimini veyahut şeklini değiştirmek için kullanılan cihazlara denir. Elektrik güvenliği, ihmal edilemeyecek derecede önemli bir husustur. Elektrik çarpması, patlama, yangın, elektromanyetik dalgalar ve yetkisiz kişilerin müdahalesi başlıca risk faktörleri arasındadır. Yalıtkan halıların yerleştirilmesi, çalışanlara uygun KKD temin edilmesi ve izin sistemi gibi uygulamaların hayata geçirilmesiyle bu alanlar daha güvenli hale getirilebilir. Analizin bir diğer sonucuna göre A-1 (hava kapıları) 0,0634 en yüksek ağırlığa sahip beşinci kriter olmuştur. Hava kapıları, yeraltı madencilik faaliyetlerinde temiz havanın ocak içerisinde yönlendirilmesi için kurulur. Hava kapıları, temiz hava ile kirli havanın karışmasını engelleyerek hava kalitesini artırır. Hava kapıları, manuel ve otomatik çalışma prensibine dayanmaktadır (Doğan, 2022). Doğru kullanıldığında ocak havasına, çalışma kalitesine ve iş güvenliğine ciddi katkı sağlayabilen bir sistemdir.

Tablo 3.7'de "Orta Düzey Riskler" arasında yapılan ikili karşılaştırma sonucunda tutarlılık indeksi **0.1>0,0974** olarak hesaplanmıştır. Çalışma ile elde edilen sonuç tutarlı çıkmıştır. Bu sonuca göre en yüksek ağırlığa sahip kriter 0,421 ile B-1 (simba delici) olmuştur. Simba, yeraltı madenlerinde ocak içinde delim işlemini yapmak için kullanılan bir makinedir. Orta-büyük çaplı galerilerin açılmasında, tavan ve aynalardaki delme işlerinde kullanılır. Simba kullanım esnasında, elektrik kaçağı, tij değişimi ve delme aşamalarında kavlakların blok halinde düşmesi en riskli durumlardır. Ancak günümüzde otomatik ve uzaktan kumanda ile çalışan delicilerin geliştirilmesiyle bu riskler minimum düzeye indirilebilmektedir (Doğan, 2022). Analizin bir diğer sonucuna göre B-3 (Jumbo delici) 0,304 en yüksek ağırlığa sahip ikinci kriter olmuştur. Jumbo, kısa metrajlı deliklerin açılmasında kullanılan bir delicidir. Jumbo deliciler, periyodik bakımları yapıldığı ve makinenin eğitimsiz kişiler tarafından kullanımına izin verilmediği takdirde minimum risk oluşturur (Doğan, 2022). B-2 (bakım onarım) 0,275 en yüksek ağırlığa sahip üçüncü kriter olmuştur. Atölyelerde çalışanların bakım ve onarım gibi işler icra ederken işten kaynaklı riskler dikkate alınarak KKD seçimi yapılmalı ve çalışanlara bu konuda eğitimler verilmelidir.

Tablo 3.10'da "Düşük Düzey Riskler" arasında yapılan ikili karşılaştırma sonucunda tutarlılık indeksi **0.1>0,037** olarak hesaplanmıştır. Çalışma ile elde edilen sonuç tutarlı bulunmuştur. Bu sonuca göre en yüksek ağırlığa sahip

kriter C-5 (yer üstü çimento silosu) 0,2764 olmuştur. Çimento silosunun bulunduğu yerlerde elektrik düzeneklerinin açıkta olması bu alanlarda bulunan çalışanların yaralanmasına hatta ölümüne neden olabilir. Bu nedenle çalışanlara periyodik eğitim verilmesi, ihtiyaç duyulan noktalarda etiketleme, priz kapaklarının takılması ve otomasyon sistemlerin tercih edilmesiyle daha güvenli bir çalışma ortamı sağlanabilir.

Çalışmanın bir diğer bulgusuna göre C-1 (yer üstü stok sahası) 0,2562 en yüksek ağırlığa sahip ikinci kriter olmuştur. Yer üstü stok sahasında çalışan iş makinelerinin uyarıcı sensörlerinin bulunmaması, saha güvenliğinin alınmaması en önemli risklerin başında gelmektedir. Bu risklere karşı, makine-ekipmanlara uyarıcı sensörler takılmalı, çalışma sahaslarının bulunduğu yerlere ise tel örgüler ve uyarı levhaları yerleştirilmelidir. Ayrıca çalışanlara KKD temin edilerek gerek kurum içi gerekse kurum dışı eğitimler verilerek güvenli bir çalışma ortamı sağlanmalıdır. Çalışmanın bir diğer sonucuna göre C-3 (yer üstü bakım onarım) 0,2280 en yüksek ağırlığa sahip üçüncü kriter olmuştur. Yer üstü atölyesinde bulunan tüplerde gaz kaçaklarına ve patlama ihtimaline karşı çalışanlara eğitim verilmelidir. Ayrıca tüplere çekvalf takılmalı ve gerçek zamanlı gaz takip sistemleri ile anlık ortam takibi yapılmalıdır. Bir diğer analiz sonucuna göre C-4 (torna makinesi) 0,1594 en yüksek ağırlığa sahip dördüncü kriter olmuştur. Torna makinesi çalışırken uzuv sıkışması ve parça sıçraması gibi riskler barındırmaktadır. Bu makinelerin üzerinde bulunan koruyucuların hiçbir suretle çıkarılmasına izin verilmemelidir. Çalışanlara makinenin döner aksamına temas etmeyecek genişlikte iş tulumları verilmelidir. Ayrıca makinenin çalışması esnasında küçük parça sıçramalarına karşı işin yapısına uygun siperlikler temin edilmelidir. Diğer bir analiz sonucuna göre C-2 (yer üstü stok sahası) 0,0800 en yüksek ağırlığa sahip beşinci kriter olmuştur. Çalışanların, stok alanı ve alanın içinde KKD'siz bulunmaları bazı risklere (toz, gürültü, titreşim, zehirlenme vb.) karşı onları savunmasız bırakabilmektedir. Bu nedenle, yalnızca belirtilen alanlarla sınırlı kalmayıp, işletme ekosisteminde bulunan her çalışana işine uygun KKD temin edilerek kullanmaları konusunda teşvik edilmelidir.

4. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Endüstriyel Sanayide yaşanan değişim üretim süreçlerini farklı yönde etkilemiştir. Örneğin, üretim süreçlerinde otomasyon sistemleri yapay zekâ - internet- insan gibi birden fazla unsur bağlantılı hale gelmeye başlamıştır. Yaşanan bu gelişme ile her türlü unsur daha hızlı kontrol edilebilir hale gelirken diğer taraftan yeni riskleri de beraberinde getirmektedir. Bu sürecin başlıca sorunları yetkin çalışan azlığı, alt yapı eksiklikleri, titreşim-gürültü, radyoaktif atıklar, biyolojik riskler, ileri teknolojik makine ve ekipmanların bakım onarım sürecindeki muhtemel riskler vb.dir. İş yerlerinde karmaşıklık düzeyi arttıkça tehlikelerin bütünleşik risk olarak ortaya çıkma olasılığı da artmıştır. Geleneksel iş güvenliği uygulamalarının bütünleşik teknolojiler karşısında yetersiz kalacağı aşikardır. Bu nedenle yeni ve teknolojiyle desteklenmiş güvenlik uygulamalarının hayata geçirilmesi hayati derecede önem taşımaktadır. Bu bakımdan yakın zamanda geleneksel risk değerlendirme yöntemlerinin gelişen teknoloji karşısında yetersiz kalması kuvvetle muhtemeldir.

Bu çalışmada riskler L Tipi Matris Yöntemi kullanılarak sınıflandırılmıştır. Sınıflandırılan riskler ÇKKV yöntemlerinden AHP yöntemi kullanılarak en yüksek ağırlığa sahip olacak şekilde ağırlıklandırılmıştır. Kullanılan yöntemde sadece üç tehlike sınıfı (önem düzeyi yüksek riskler, orta düzey riskler, düşük düzey riskler) çalışmaya dahil edilmiştir. Uzmanların risk değerlendirmesi sonucuna göre riskleri önceliklendirmelerinde yaşadıkları kararsızlıklar bu durumun en önemli nedenidir. Bu husus dikkate alınarak yapılan her bir analiz sonucu tutarlı çıkmış ve her risk kendi tehlike sınıfı içinde önceliklendirilmiştir. Analiz çözümünde Microsoft Excel kullanılmıştır. Ancak farklı paket programlar da (Örn. Super Decision ANP) kullanılabilir. Çalışma sonucu genel olarak değerlendirildiğinde, iş yerlerinde iş güvenliğini sağlamakla görevli kişilerin riskleri bertaraf etme sürecini kısaltması açısından önerilen yaklaşımın büyük avantaj sağlaması beklenmektedir. Çünkü çoğu zaman birden fazla alternatif içinden en iyi olanı seçmek farklı etkenler nedeniyle yanlış karar alınmasına neden olabilmektedir. İş yerlerinde yüksek risk içeren durumlara karşı alınabilecek tedbirlere yönelik karar almak en zorlu süreçlerdendir. Bu husus önem düzeyi yüksek risk içeren durumlar karşısında karar vericilerin strese girmelerine ve karar verme süreçlerinin uzamasına neden olabilmektedir. Çalışmada kullanılan yöntemlerin bir arada kullanılması, iş güvenliği uzmanlarına hem zaman kazandıracak hem de kısa sürede doğru karar almalarını sağlayacaktır. Bahse husus ile ilgili çalışma yapmak isteyen araştırmacılara; madencilik, inşaat, metal gibi iş güvenliğine yönelik karar alma süreçlerinin büyük önem taşıdığı çok tehlikeli sektörlerde uygulamaları tavsiye edilebilir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

Referanslar (References)

- TMMOB, Maden Mühendisleri Odası İş Sağlığı ve Güvenliği Komisyonu. 2021. Madencilikte Yaşanan İş Kazaları Raporu.
- ILO (2020). Business, Occupational Safety and Health. https://www.ilo.org/global/topics/safety-and-health-at-work/events/training/eventsmetings/WCMS_DOC_ENT_HLP_OSH_EN/lang-en/index.htm.
- Sosyal Güvenlik Kurumu (SGK). 2020. İstatistik yıllıkları. <http://www.sgk.gov.tr/> (Erişim tarihi: 16 Kasım 2020).
- Selçuk, S. & Selim, H. H. 2018. Mücevherat Sektöründe Kullanılan İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Analiz Yöntemlerinden L Tipi Matris Yöntemi. İstanbul Ticaret Üniversitesi Teknoloji ve Uygulamalı Bilimler Dergisi, 1 (1), 21-27.
- Özkılıç, Ö. 2005. İş sağlığı ve güvenliği, yönetim sistemleri ve risk değerlendirme metodolojileri. Türkiye İşveren Sendikaları Konfederasyonu (TİSK), Ankara, p.219.
- Soykan, O. 2018. Endüstriyel Balıkçı Gemilerinde L Tipi Matris Yöntemi ile Risk Değerlendirmesi ve Kullanılabilirliği. Ege Journal Of Fisheries And Aquatic Sciences, 35 (2), 207-217.
- Keskin, M. Ö., Doğan, O. & Ersoy, S. 2020. Metalik Bir Yeraltı Maden İşletmesi, Cevher Çıkarma, Üretim ve Nakliyat Aşamalarında Risk Değerlendirmesi. Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi, 9 (2), 84-98.
- Korkmaz, G. 2020. L Tipi (5x5 Matris) Risk Analiz Yöntemi ve Fine Kınney Yöntemi ile Yapı Makinalarında Risk Değerlendirmesi. Çankaya Üniversitesi FBE İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Selçuk, S. & Selim, H. H. 2018. Mücevherat Sektöründe Kullanılan İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Analiz Yöntemlerinden L Tipi Matris Yöntemi. İstanbul Ticaret Üniversitesi Teknoloji ve Uygulamalı Bilimler Dergisi, 1 (1), 21-27.
- Başar, O. 2019. Tavas Bahçeköy Olivin Üretim Tesisinde İş Güvenliği Risk Analizi. Süleyman Demirel Üniversitesi, FBE Yapı Eğitim Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Isparta.
- Maiti, J. 2003. Development of Risk Indices for Underground Coal Mine Workers in India. Mining Technology, 112(2), 119-124.
- Vermaas, R. L., Edwards, A. L., & Soer, M. 2007. Noise Exposure in Gold Miners: Utilising Audiogram Configuration to Determine Hearing Handicap.
- Tezölmez E. R. 2019. Bir Yeraltı Barit İşletmesinde Gürültü ile Titreşim Maruziyetlerinin Değerlendirilmesi ve Risk Analizi. Çukurova Üniversitesi FBE İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Adana.
- Şafak, R.E. 2016. Açık Ocak İşletmelerinde İş Güvenliği Uygulaması Örnek Ocak Çalışması. Dumlupınar Üniversitesi, FBE Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Kütahya.
- Yılmaz, B. ve Dağdeviren, M. 2010. Ekipman Seçimi Probleminde Promethee ve Bulanık Promethee Yöntemlerinin Karşılaştırmalı Analizi. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, (4), 16.
- Saaty, T. L. ve Vargas, L. G. 2001. Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process. Boston, MA: Springer US. <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4615-1665-1> adresinden erişildi.
- Saaty, T. L. ve Kearns, K. P. 1985. Analytical planning: The organization of systems. International series in modern applied mathematics and computer science (1st ed.). Oxford; New York: Pergamon Press.
- Güner, H. 2005. Bulanık AHP ve Bir İşletme için Tedarikçi Seçimi Problemine Uygulanması. Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 133 s.
- Doğan, O. 2022. İş Güvenliği Açısından Endüstri 4.0 Uygulamaları. Çukurova Üniversitesi FBE, İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Adana.
- Kazakidis, V.N., Mayer, Z., Scoble, M.J. 2004. Decision Making Using the Analytic Hierarchy Process in Mining engineering. Mining Technology, 113 (1), pp.30-42.
- Yavuz, M., İphar, M., Önce, G. 2008. The Optimum Support Design Selection by Using AHP Method for the Main Haulage Road in WLC Tuncbilek Colliery. Tunnelling and Underground Space Techn, 23 (2), s.111.
- Gökgöz, B. İ., İlerisoy, Z. Y. & Soyuluk, A. 2020. Acil Durum Alanlarının AHP Yöntemi ile Değerlendirilmesi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (19), 935-945.
- Podgórski, D. 2015. Measuring Operational Performance of OSH Management System—A Demonstration of AHP-Based Selection of Leading Key Performance Indicators, Safety Science, 73, pp.146-166.
- Wang, Q, and Qi, H.W.Z. (2016). An Application of Nonlinear Fuzzy Analytic Hierarchy Process in Safety Evaluation of Coal Mine, Safety Science, 86, pp.78-87.
- Golosinski, T., S. 2001. Use of The Internet and Information Technology in Mining. 17 International Mining Congress and Exhibition of Turkey, MCET2001, pp.11-15.
- Ebrahimbadi, A. 2014. İran Tabas Kömür Madeni Projesinde Uygun Tünel Açma Makinası Seçimi için Bulanık AHP Yaklaşımı. Yerbilimleri, 35 (3), 141-168.
- Öner, A. & Ülengin, F. 1995. Silah Seçiminde AHP Yaklaşımı. Kara Harp Okulu, I. Sistem Mühendisliği ve Savunma Uygulamaları Sempozyumu, Bildiriler-II, 1109-1122.
- Ünverdi, Ş. ve Çetinyokuş, S. 2021. "Bir Kamu Kurumunda Bulunan Asbest Uygulama Merkezi ve SEM Laboratuvarında L Tipi Matris Yöntemi ile Risk Değerlendirmesi", *Karalmas Journal of Occupational Health and Safety*, 5 (2), ss. 99-107. doi:10.33720/kisgd.977714



Q-ROF TOPSIS VE Q-ROF COCOSO YÖNTEMLERİYLE PETROL İSTASYONU YER SEÇİMİ

Birsen İrem KUVVETLİ^{1*},

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü, Osmaniye

Anahtar Kelimeler

Çok Kriterli Karar Verme,
TOPSIS,
CoCoSo,
Q-Seviyeli Ortoper Bulanık
Kümeler,
Yer Seçimi.

Öz

Petrol ve petrol ürünleri dünya ekonomisindeki önemini korumaktadır. Bu sebepten dolayı, petrol ihtiyacını karşılamak adına petrol istasyonu kurulmasına ya da varolan istasyonların iyileştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada, bir petrol istasyonu için tesis yeri seçimi problemi incelenmiştir. Tesis yeri seçimi problemleri, literatürde sıklıkla çok kriterli karar verme yöntemleri ile çözülmektedir. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, karar vericilerin yanıtlarındaki belirsizliği çalışmaya doğru şekilde aktarabilmek adına bulanık küme temelli yaklaşımlar tercih edildiği görülmüştür. Bu nedenle, bu çalışmada daha objektif bir sıralama yaklaşımı ortaya koyabilmek için q-seviyeli bulanık küme temelli yöntemler kullanılmıştır. Önerilen yaklaşımda, q-Rung Orthopair Fuzzy Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution (q-ROF TOPSIS) ve q-Rung Orthopair Fuzzy Combined Compromise Solution (q-ROF CoCoSo) yöntemleri kullanılmıştır. Adana ilinde bir petrol istasyonu kurulumu için yer seçimi problemine çözüm aramak üzere önerilen yaklaşım değerlendirilmiştir. Çalışma için hem literatürde bulunan hem de özgün olan on kriter belirlenmiştir. Kriterlerin ağırlıklandırılması sonrası, farklı istasyon tiplerine sahip 5 aday lokasyonun sıralanması için 3 uzmanın görüşüne başvurulmuştur. Çalışma sonuçları yorumlanmış, duyarlılık analizi yapılarak parametrelerin sonuca etkisi incelenmiş ve çalışma tamamlanmıştır.

GAS STATION LOCATION SELECTION USING Q-ROF TOPSIS AND Q-ROF COCOSO METHODS

Keywords

Multi- Criteria Decision
Making,
TOPSIS,
CoCoSo,
Q-Rung Orthopair Fuzzy Sets,
Location Selection.

Abstract

Petroleum and petroleum products maintain their importance in the world economy. Therefore, there is a need to establish new petrol stations or to improve the existing ones in order to meet the need for oil. In this study, the location selection problem for a petrol station is investigated. Location selection problems are solved by Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods. When the studies in the literature are examined, it is seen that fuzzy set-based approaches are preferred in order to clarify the uncertainty in the answers of the decision makers. Therefore, in this study, q-level fuzzy set-based methods are used to present a more objective ranking approach. In the proposed approach, q-Rung Orthopair Fuzzy Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution (q-ROF TOPSIS) and q-Rung Orthopair Fuzzy Combined Compromise Solution (q-ROF CoCoSo) methods were used. The proposed approach is evaluated to solve the site selection problem for a petrol station installation in Adana. Ten criteria, both found in the literature and original, were determined for the study. After weighting the criteria, 3 expert opinions were consulted to rank 5 candidate locations with different station types. The results of the study were interpreted, sensitivity analysis was conducted and the effect of the parameters on the result was examined.

Alıntı / Cite

Kuvvetli, B.I., (2023). Q-ROF TOPSIS ve Q-ROF CoCoSo Yöntemleriyle Petrol İstasyonu Yer Seçimi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(4), 1294-1309.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

B.İ. Kuvvetli, 0000-0002-7730-098X

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	31.01.2023
Revizyon Tarihi / Revision Date	22.08.2023
Kabul Tarihi / Accepted Date	24.08.2023
Yayın Tarihi / Published Date	30.12.2023

* İlgili yazar/Corresponding author: birsenselamoglu@osmaniye.edu.tr, +90 328 827 10 00 (3295)

GAS STATION LOCATION SELECTION USING Q-ROF TOPSIS AND Q-ROF COCOSO METHODS

Birsen İrem KUVVETLİ^{1†},

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü, Osmaniye

Highlights (At least 3 and maximum 4 sentences)

- Two methods have been used for gas station selection problem.
- 10 criteria are used one of which is original and the rest is from the literature.
- The problem is solved using q-ROF TOPSIS and q-ROF CoCoSo method.
- Alternatives with different station types were evaluated.

Graphical Abstract (If applicable)

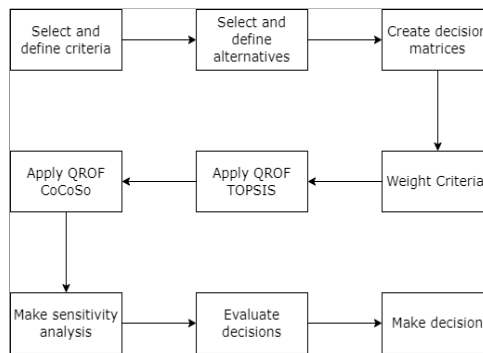


Figure. Overview of the study

Purpose and Scope

Petrol stations are one of the important points for mobility. While the conversion to electric vehicles is ongoing, the use of fossil fuels also continues, and for this reason, location selection for gas station was investigated in this study. With a suitable selection approach for decision makers, gas station location selection was carried out for the Adana region.

Design/methodology/approach

The aim of the study is to determine the ideal location selection points for gas stations. Since the site selection problem is a problem that is considered depending on many criteria, multi-criteria decision-making approaches have been chosen as the ideal method. In this context, q-ROF TOPSIS and q-ROF CoCoSo methods were used to choose the ideal location. Q-ROF based methods are chosen because they provide the flexibility to express a wider information range.

Findings

In order to find a location for the gas station, 10 criteria were determined to be considered and 5 alternative locations were selected by the experts in Adana. Accessibility was chosen as the most critical criterion. Population density, proximity to electric vehicle stations, cost and contract duration criteria were found to be important as well. Waste rate – proximity to agricultural lands and additional service are the criteria with the lowest weight. When the ranking of alternatives is evaluated, locations A2 and A5 were chosen as the most successful alternatives according to both q-ROF TOPSIS and q-ROF CoCoSo methods.

Research limitations/implications (if applicable)

It may be possible to try different multi-criteria decision-making methods in the future. The investigated problem can be generalized for different criteria and finally the efficiency of the decision can be increased with more decision makers.

Practical implications (if applicable)

The approach used in this study can be easily adapted to many real-life petrol station location problems. Thus, it is possible for decision makers to use a fast and effective decision-making approach to choose the most appropriate alternatives.

Originality

As far as I know, this is the first study in the literature that uses q-ROF based approaches to solve the gas station location selection problem. In addition to that, adding a new criterion also contributes to the literature of the problem. In this study, alternatives with different station installation types were considered. Finally, studies on the literature on q-ROF TOPSIS and q-ROF CoCoSo methods are limited.

[†] İlgili yazar/Corresponding author: birsenselamoglu@osmaniye.edu.tr, +90 328 827 10 00 (3295)

1. Giriş (Introduction)

Yer seçim problemleri günümüzde hala önemini koruyan problemlerden biridir. Rekabetin arttığı günümüzde yer seçim kararının doğru yapılması maliyetleri düşürme ve kârı artırma açısından kritik bir öneme sahiptir (Mokhtarian, 2011; Otay ve Atik, 2020). Petrol istasyonu yer seçim problemi de hala güncelliğini ve önemini koruyan problemlerdendir. Dünya ekonomisinin petrol ve petrol ürünlerine olan ihtiyacı, artan nüfus, trafik, çevresel faktörler ve sürdürülebilirlik konuları problemin güncelliğini korumasının sebepleri arasında sayılabilir.

Dünyada artan karbon emisyonu ve sebep olduğu olumsuz etkileri azaltmak amacı ile hazırlanan Yeşil Mutabakat protokolü 2030 yılına kadar karbon emisyonunu %55 oranında azaltmayı hedeflemektedir (European Green Deal, 2019). Bu bağlamda fosil yakıtlı araçların da yerini elektrikli araçlara bıraktığı bilinmektedir. 2035 yılına kadar fosil yakıt kullanan araçlardan kaynaklanan karbon emisyonunun sıfırlanması hedeflenmektedir (Yıldızhan vd., 2022).

Günümüzde fosil yakıtlı araçların kullanımının azaltılmaya devam edilmesine karşın hâlâ, halihazırda trafikte olan pek çok araç bu tür yakıtlar kullanmaktadır. Elektrikli araçlara geçiş adaptasyonu sürecinde mevcut ihtiyacı karşılamaya yönelik olarak yeni petrol istasyonu tesislerinin kurulumu gerekecektir. Ancak kurulacak petrol istasyon tesisleri için yer seçimi yaparken, standart seçim kriterlerinin dışında, şarjlı sisteme geçme durumunda karşılaşılabilecek olası durumlar da göz önüne alınarak yer seçim kriterlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Tamamen elektrikli araçlara geçiş hedefi olmasına karşın, bu süreçte hibrit araç sayısındaki artışlar da göz önüne alınmalıdır. Hibrit araçlarda elektriğin yanısıra fosil yakıtlar kullanıldığı bilinmektedir. Bu sebeple de yine petrol istasyonlarına ihtiyaç duyulacağı söylenebilir. Aday yerlere belirli mesafedeki elektrikli araç istasyonlarının varlığı, o bölgelerdeki elektrikli araç, hibrit araç ve fosil yakıtlı araç kullanma yoğunlukları ile mecburiyet gereği işletme türünde değişime gidilmesi gerekirse, başka bir deyişle elektrikli araçlar için de servis sağlanması gerekir ise, seçilen yerin altyapı, çevresel ve yasal koşullar itibari ile bu değişime uygunluğu dikkate alınması gereken bazı kriterlerden sayılabilir.

Petrol istasyonu kurulumu 5 farklı türde olabilir (Toksoy Erdoğan, 2012). Bu beş durum aşağıda sıralanmıştır:

- 1- Sıfırdan yeni istasyon kurulumu (New to Industry),
- 2- Eski bir istasyonu yıkarak, yeniden yapmak (Knock-down Rebuild)
- 3- Halihazırda kurulu olan eski istasyonu geliştirerek, genişleterek yenilemek (Redevelopment)
- 4- Eski bir istasyonu kısmî olarak yenileyerek kurulumu tamamlamak (Regeneration)
- 5- Kurumsal kimlik değişimi (Retail Visual Identity)

Çalışmadaki aday yerleşim yerlerinden biri eski istasyonun yenilenmesi şeklinde kuruluma (Redevelopment) uygun olup, diğer aday lokasyonlar, sıfırdan yeni istasyon kurma (New to Industry) şeklinde kuruluma yapılabilecek yerler içerisinde incelenmiştir. Yapılan literatür taraması sonuçlarına göre petrol istasyonu yer seçimi problemlerinin çözümünde q-seviyeli bulanık sayılardan faydalanılan bir çalışmaya rastlanmamıştır. Çalışmanın temel katkısı farklı tiplere sahip petrol istasyonlarının yer seçimi problemi için hem bütüncül bir değerlendirme kriterleri kümesi oluşturmak, hem de q-seviyeli bulanık mantık tabanlı yöntemlerle uzman belirsizliklerinin daha iyi açıklanabildiği bir değerlendirme yöntemi oluşturmaktır.

Çalışmanın organizasyonu şu şekildedir; ikinci bölümde literatür taraması yapılmış ve alanla ilgili çalışmalar incelenmiştir. Üçüncü bölümde problem tanımı yapılmıştır. Q-seviyeli bulanık küme setleri kısaca anlatılmış ve problemin çözümü için takip edilmesi gereken q-ROF TOPSIS ve q-ROF CoCoSO yöntemlerinin adımları ile uygulamaya yer verilmiştir. Dördüncü bölümde iki yöntemin sonuçları incelenmiş ve duyarlılık analizi yapılarak her iki yöntemin de parametrelerindeki değişimin sonuca etkisi üzerinde inceleme yapılmıştır. Beşinci bölümde, çalışma değerlendirilmiş ve çalışmayı daha da ilerletmek adına gelecek çalışmalarda yapılabilecekler tartışılmıştır.

2. Literatür Araştırması (Literature Research)

Tesis yeri seçimi problemi işletmeler için kritik öneme sahip karar problemlerinden birisidir ve bu kararın verilme aşamasında pek çok kriter göz önünde bulundurulur (Karande ve Chatterjee, 2018). Farklı sektörlerde uygulanabilirliği olan bu problemin doğası gereği, problem çözümünde yaygın olarak Çok Kriterli Karar Verme teknikleri kullanılmaktadır (Kumar ve ark., 2010).

Literatürde yer alan farklı sektörlerde ait bazı tesis yeri seçimi problemlerine ve kullanılan Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerine bakılacak olursa; üretim yeri seçim problemlerinde AHP-TOPSIS-PROMETHEE (Yeşilkaya, 2018), Tip-2 Nötrosofik BWM-CODAS (Deveci ve ark., 2021) yöntemleri ile problem çözümünü gerçekleştirmişlerdir. Enerji sektöründen çalışmalar incelendiğinde aralık değerli Pisagor Bulanık Entropi-TOPSIS (Şeker ve Aydın, 2020), BWM- Gri İlişkisel Analiz- Vikor ve Monte Carlo Simülasyonu (Kannan ve ark., 2020), SWARA- WASPAS-

COPRAS- EDAS- WSM (Xuan ve ark., 2022) yöntemleri ile problemlere çözüm bulunduğu, sağlık sektöründeki çalışmalarda CBS Tabanlı AHP ve Bulanık AHP (Tripathi ve ark., 2021), Hiyerarşik Tabakalı BWM-CoCoSo-WASPAS (Torkayesh ve Simic, 2022) yöntemleri ile, atık ve geri dönüşüm sektöründe ise sezgisel bulanık ÇKKV tabanlı CODAS (Karagöz ve ark., 2020), tip-2 bulanık ARAS (Karagöz ve ark., 2021) yöntemleri ile problem çözümü sağlandığı görülmüştür. Elektrikli araç istasyon yer seçimi problemi ile ilgili bazı çalışmalarda SAW-TOPSIS-GRAPROMTHEE II (Abdullah ve ark., 2022), dilsel Entropi ağırlıklandırma (LEW) ve bulanık aksiyomatik tasarım (FAD) (Feng ve ark., 2021), gri DEMATEL ve belirsiz dilsel MULTIMOORA (Liu ve ark., 2019) yöntemleri ile problem çözümü sağlanmıştır. Literatürdeki farklı çalışmalarda problem içeriğine göre farklı türde ÇKKV yöntemlerinin kullanıldığı görülmüştür.

Çalışmanın ana konusu olan petrol istasyonu yer seçim problemi için yapılan geçmiş çalışmalardan bazıları şu şekildedir. Mokhtarian (2011) çok kriterli yer seçim problemi için sol ve sağ skorlar kullanarak yeni bir bulanık ağırlıklı ortalama yöntemi geliştirmiş ve petrol istasyonu yer seçim problemi için bu yöntemi uygulamıştır. Semih ve Seyhan (2011) çalışmasında AHP yöntemini kullanarak, istasyon sayısı, sosyal, nicel ve nitel kriterleri değerlendirerek petrol istasyon yer seçim problemini çözmüştür. Çalışmada çok detaylı bir şekilde kriter analizi yapılmıştır. MirHassani ve Ebrazi (2013) petrol istasyonu yeri seçimi problemi için esnek karışık tamsayılı doğrusal programlama modeli geliştirmişlerdir. Model, büyük problemleri kabul edilebilir sürelerde optimum olarak çözebilmiştir. Njoku ve Alagbe (2015) çok boyutlu Coğrafik Bilgi Sistem bazlı bir yöntem geliştirerek ve belli kriterleri göz önüne alarak 113 petrol istasyonunun değerlendirilmesini gerçekleştirmişlerdir. Alavipoor vd. (2016) Coğrafik Bilgi Sistemi bazlı bir çok kriterli karar verme yöntemi geliştirmişlerdir. Gerçek hayat problemlerindeki belirsizlik durumunu göz önüne alarak, AHP ve bulanık küme teorisi kullanarak problem çözümünü gerçekleştirmişlerdir. Gamma bulanık operatörünün kullanımının çalışmaları için uygun olduğunu belirtmiştir. Li vd. (2017) petrol istasyonu projesi için sosyal ve çevresel faktörleri göz önünde bulundurarak, çok amaçlı optimizasyon ve bulanık değerlendirme kullanarak bir bütünlük çok amaçlı karar verme yöntemi geliştirmişlerdir. Çok amaçlı kısmında, yatırım maliyeti, doldurma maliyeti ve bekleme süresi gibi durumlar dikkate alınmıştır. Fakhari vd. (2019) kirlilik oranı, maliyet, nüfus, elektrik kullanımı gibi kriterleri göz önüne alarak, İran'da 25 şehirdeki benzin istasyonu yerleşimini Z- sayıda veri zarflama analizi yardımı ile optimum olarak bulmayı hedeflemişlerdir. Ayrıca Z-sayıları bazlı bulanık veri zarflama analizi ile bahsi geçen kriterleri göz önüne alarak elde edilen sonuçları doğrulamışlardır. Ayyıldız ve Gümüş (2020), yeni bir Küresel Bulanık AHP ile Bütünlük Bulanık WASPAS yöntemi geliştirerek, gerçek bir petrol istasyon yer seçimi problemini çözmüşlerdir. Otay ve Atik (2021) gerçek bir petrol tesis yerleşimi problemini çözmek üzere, Küresel Bulanık Analitik Hiyerarşi Proses yöntemi ve Küresel Bulanık WASPAS yöntemlerini önermiştir.

İlgili literatür incelendiğinde farklı çok kriterli karar verme yaklaşımları kullanılabildiği gibi bulanık tabanlı yöntemler de tercih edilmiştir. Bu çalışmada ise, önceki çalışmalardan farklı olarak q-seviyeli bulanık mantık tabanlı q-ROF TOPSIS ve q-ROF CoCoSo yöntemleri ile petrol istasyonu yer seçimine odaklanılmıştır. Q-seviyeli bulanık sayılar, belirsizliğe sahip durumları sezgisel ve pisagoryan bulanık sayılara göre daha iyi açıklayabildiği için seçilmiştir (Zhu ve ark., 2022). Böylece uzman görüşlerindeki belirsizliğin daha iyi yansıtılabildiği bir petrol istasyonu yer seçimi yaklaşımı ortaya konulmuştur. TOPSIS yönteminin seçilme nedeni pozitif ve negatif ideal çözümlere yakınlığa odaklı bir sıralama yapması iken CoCoSo yönteminin seçilme nedeni farklı değerlendirme stratejileriyle ortak bir çözüm bulabilme yeteneğidir.

3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Alternatif lokasyonlar arasından bir tesisin kurulacağı yerin seçimi problemi Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri ile çözülür. Bu kapsamda, petrol istasyonu için kuruluş yer seçimi problemi de bir ÇKKV problemi olarak adlandırılır. Burada seçimler nicel ya da nitel olabilir. Bu çalışmada, klasik yöntemlerin dilsel açıdan yetersizliğini gidermek adına q-seviyeli ortoper bulanık kümeler kullanılmıştır. Burada amaç, karar vericilerin değerlendirmelerindeki belirsizliği karara yansıtma ve yanlılığı ortadan kaldırmaya çalışmaktır.

Bulanık küme setleri ilk olarak Zadeh (1965) tarafından literatüre eklenmiştir. Bulanık küme setleri, net olarak durum tanımlanamayan koşullar için geliştirilmiştir. Net durumlarda, bir nesnenin bir kümeye dahil olup olmaması 0 ve 1 değerleri ile ifade edilebilirken; havanın sıcak ya da soğuk olması veya bir yiyeceğin acı olup olmaması gibi göreceli durumlarda küme aidiyeti ile ilgili kesin çıkarım yapmak mümkün olmamaktadır (Mokhtarian, 2011). Bulanık kümeler üyelik fonksiyonu üzerinden ifade edilir. Burada, her bir nesne $[0,1]$ aralığında üyelik derecesi adı verilen bir değer alır (Mokhtarian, 2011). Atanassov (1986), üye olmama derecesi ve belirsizlik durumunu da hesaplayan fonksiyonları içeren sezgisel bulanık küme kavramını ortaya atmıştır. Sonrasında Yager (2017) kendi çalışması olan Pisagor bulanık kümeleri sezgisel bulanık kümeler ile genişleterek, Q-seviyeli ortoper bulanık küme setlerini (Q-ROFs) tanımlamıştır.

Bu çalışmada, q-ROF Topsis ve q-ROF CoCoSo yöntemleri ile petrol istasyon yer seçimi problemi çözülecektir.

Çalışmada, 5 aday yerleşim yeri arasından en uygun olanı, çalışmaya katılan 3 karar vericinin belirlenen 10 kriteri değerlendirerek verdiği yanıtlar üzerinden yapılan hesaplamalar ile seçilerek tamamlanmıştır.

3.1. Q- Seviyeli Ortoper Bulanık Kümeler (Q-rung Orthoper Fuzzy Sets)

Klasik bulanık küme yaklaşımlarında hem yalnızca üyelik değerleri baz alınmaktadır hem de matematiksel operatörler için varsayımlar oluşmaktadır. Bu nedenle, klasik bulanık kümelerin farklı genişletmeleri (tip-2 bulanık sayılar, sezgisel bulanık sayılar vb.) oluşmuştur (Bustince ve ark., 2015).

Sezgisel, Pisagoryan ve q-seviyeli bulanık yaklaşımların klasik bulanık kümelere göre kullanımlarındaki en önemli avantaj üye olma ve olmama durumlarını aynı anda göz önüne almalarıdır. Buna ek olarak q-seviyeli bulanık sayılarda üye olma ve olmama arasındaki ilişkilerin q. seviyede ele alınmasından ötürü sezgisel ve pisagoryan bulanık sayılara göre belirsizliğin daha iyi açıklanabildiği değerlendirilmiştir (Zhu ve ark., 2022).

Yager (2017) tarafından literatüre katılan q-seviyeli ortoper bulanık kümelerin gösterimi Eşitlik (1) ile verilmiştir.

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

Burada $\mu_A(x)$ üye olma derecesini, $\nu_A(x)$ ise üye olmama derecesini göstermektedir. Her iki değer de [0,1] aralığında değer almaktadır ve Eşitlik (2)'yi sağlamaktadır.

$$(\mu_A(x))^q + (\nu_A(x))^q \leq 1 \quad (2)$$

Üye olma ve üye olmama değerlerinin toplamının 1'den küçük olma durumu söz konusudur. Buradan da belirsizlik ya da tereddüt değeri denilen değer ortaya çıkmaktadır. Bu değer Eşitlik (3) ile hesaplanmaktadır.

$$\pi_A(x) = (1 - (\mu_A(x))^q - (\nu_A(x))^q)^{1/q} \quad (3)$$

Eşitliklerde yer alan q değeri bulanık gösterim açısından kritik öneme sahiptir. Burada, q değeri 1 olduğunda sayı sezgisel bulanık sayı olurken, 2 olduğunda pisagoryan bulanık sayı halini almaktadır (Zhu ve ark., 2022). q-ROF bulanık sayılarda bu nedenle q değeri 3 ve üzerinde değerlendirilir.

3.2.1. Uygulama Adımları (Implementation Steps)

Problem q-ROF TOPSIS ve q-ROF CoCoSo yöntemleri ile çözülmüş, çıkan sonuçlar karşılaştırılarak yorumlanmıştır. 5 aday lokasyon için lokasyonlar kümesi $L = \{L_1, L_2, L_3, L_4, L_5\}$ olarak verilmiş olsun. 10 adet kriter için tanımlanan kriterler kümesi $K = \{K_1, K_2, K_3, K_4, K_5, K_6, K_7, K_8, K_9, K_{10}\}$ olarak tanımlanmıştır. Çalışmanın adımları aşağıda açıklanmıştır. Çalışmada kullanılan dilsel değişkenlere karşılık gelen q-ROF sayı değerleri tablosu Deveci vd. (2022) çalışmalarından adapte edilerek hazırlanmış ve Tablo 1'de verilmiştir. Adım 1, 2 ve 3 ortak adımlar olup, devamında yöntem bazında farklı adımlarla ilerlenerek iki ayrı uygulama da tamamlanmıştır.

Tablo 1. Dilsel İfadeler (Linguistic Terms) (Deveci vd., 2022)

Dilsel İfade	Değer	Üye olma (μ)	Üye olmama (ν)
Baskın düzeyde düşük	9	0.15	0.95
Çok düşük	8	0.25	0.85
Düşük	7	0.35	0.75
Orta- Düşük	6	0.45	0.65
Orta	5	0.55	0.55
Orta-Yüksek	4	0.65	0.45
Yüksek	3	0.75	0.35
Çok yüksek	2	0.85	0.25
Baskın düzeyde yüksek	1	0.95	0.15

Adım 1. Karar verici ağırlıklarının hesaplanması

Çalışmada 3 uzman görüşüne başvurulmuştur. Uzmanların farklı deneyim ve uzmanlık alanına sahip olmaları dolayısı ile, her birinin verdiği kararların sonuca yansımalarının aynı olmaması daha yansız bir karara ulaşmamızı sağlayabilir (Pınar ve Boran, 2020; Wang ve Li, 2018). Her bir karar verici değeri $KV_i = [\mu_i, v_i, \pi_i]$ olarak verilir ve her birinin etki değeri Eşitlik 4 ile hesaplanır.

$$\lambda_i = \frac{(1 + \mu_i^q - v_i^q)}{\sum_{i=1}^t (1 + \mu_i^q - v_i^q)} \quad \text{ve} \quad \sum_{i=1}^t \lambda_i = 1 \quad (4)$$

Adım 2. Karar verici değerlendirmelerinin, karar verici ağırlıkları ile normalize edilmesi

Bu adımda her bir lokasyona ait kriter değerlendirmesi yapan karar vericilerin kendi ağırlıklarını da yansıtarak hesaplanan normalize edilmiş değerler tablosu Eşitlik 5'te verilen q-ROFWA operatörü (Liu ve Wang, 2018) ile hesaplanmıştır.

$$q - ROFWA(\alpha_1, \dots, \alpha_t) = \left\langle \left(1 - \prod_{i=1}^t (1 - \mu_i^q)^{\lambda_i}\right)^{\frac{1}{q}}, \prod_{i=1}^t v_i^{\lambda_i} \right\rangle \quad (5)$$

Adım 3. Kriter ağırlıklarının belirlenmesi

Bu aşamada, karar vericilerin her bir kriter için yaptığı değerlendirmeler her bir karar vericinin ağırlığı da dikkate alınarak q-ROF sayılarına çevrilir ve kriter ağırlıkları hesaplanır. Ağırlık hesaplama formülasyonu (Pınar ve Boran, 2020) Eşitlik 6'da verilmiştir.

$$W = \frac{\sum_{i=1}^t \lambda_i (1 + \mu_i^q - v_i^q)}{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^t \lambda_i (1 + \mu_i^q - v_i^q)} \quad (6)$$

Burada, n kriter sayısını gösterir ve $W = [w_1, w_2, w_3, \dots, w_n]$ dir.

İlk üç aşama ile hesaplanan veriler, q-ROF TOPSIS ve q-ROF CoCoSo ile kullanılacaktır.

3.2.1.1. q-ROF TOPSIS Uygulaması (q-ROF TOPSIS Implementation)

İlk üç adım tamamlandıktan sonra problem öncelikle q-ROF TOPSIS kullanılarak çözülmüştür.

Adım 4. Normalize edilmiş karar matrisi, ağırlıklarla işleme girerek yeniden güncellenecektir. Bu hesaplama (Pınar ve Boran, 2020) Eşitlik 7'de verilmiştir. Yeni oluşan matris elemanları yine q-ROF sayıları ile ifade edilmektedir.

$$(w_i \alpha_t) = \left\langle \left(1 - (1 - \mu_t^q)^{w_i}\right)^{\frac{1}{q}}, v_t^{w_i} \right\rangle, \pi_{Aj} = \left\langle (1 - \mu_{Aj}^q - v_{Aj}^q) \right\rangle^{1/q} \quad (7)$$

Adım 5 ve Adım 6. q-ROF pozitif ve negatif ideal çözümler bulunmuş ve ardından Pınar ve Boran (2020) pozitif ve negatif ideal çözüme yakınlığın hesaplaması ile ilgili geliştirdikleri formül kullanılmıştır. Burada q-ROFPIS kâr maksimizasyonu ile ilgilenirken, q-ROFNIS kâr minimizasyonu ile ilgilenir (Pınar, 2021).

Adım 7. q-ROF TOPSIS uygulamasının son aşamasında ideal çözüme göreceli yakınlıklar hesaplanarak, hesaplama sonucu çıkan değerler sıralanmış ve en yüksek değere sahip aday yerleşim yeri bulunmuştur. Hesaplama formülü Eşitlik 8'de verilmiştir (Pınar ve Boran, 2020).

$$C_{i^*} = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-} \quad \text{ve} \quad 0 \leq C_{i^*} \leq 1 \quad (8)$$

Bu hesaplamada S_i^+ ve S_i^- değerleri her bir aday seçeneğin q-ROFPIS ve q-ROFNIS ideal çözümleri ile arasındaki uzaklığı belirleyen değerlerdir.

3.2.1.2. q-ROF CoCoSo Uygulaması (q-ROF CoCoSo Implementation)

İlk üç adım uygulandıktan sonra çalışma önce q-ROF TOPSIS ile çözülmüştür. Çalışmanın son kısmında yer seçim problemi q-ROF CoCoSo ile çözümlenerek sonuçlar yorumlanacaktır. q-ROF CoCoSo yönteminin adımları Peng ve Huang (2020)'ın çalışmasından alınmıştır.

Adım 4. Adım 2'de oluşturulan normalize edilmiş matrisine ait skor fonksiyon matris değerleri (Peng ve Huang, 2020) Eşitlik 9 kullanılarak hesaplanır.

$$r_{ij} = \mu_{ij}^q - v_{ij}^q - \ln(1 + \pi_{ij}^q) \quad (9)$$

Adım 5. Elde edilen skor fonksiyon matrisi Eşitlik 10 ile normalize edilir.

$$r'_{ij} = \begin{cases} \frac{r_{ij} - r_j^-}{r_j^+ - r_j^-}, & r_j^- = \min r_{ij} \\ \frac{r_j^+ - r_{ij}}{r_j^+ - r_j^-}, & r_j^+ = \max r_{ij} \end{cases} \quad (10)$$

Adım 6. Ağırlıklandırılmış karşılaştırılabilir dizisinin toplamı ve ağırlıklandırılmış karşılaştırılabilir dizisinin güç ağırlığı değerleri S_i ve P_i , Eşitlik 11 ve Eşitlik 12 ile hesaplanabilir. Ağırlık değerleri Adım 3'te hesaplanmıştır.

$$S_i = \sum_{j=1}^n w_j * r'_{ij} \quad (11)$$

$$P_i = \sum_{j=1}^n (r'_{ij})^{w_j} \quad (12)$$

Adım 7 ve Adım 8. Son iki adımda adaylar için göreceli ağırlıklar hesaplanır ve her bir aday için değerlendirme kriteri hesaplanarak seçim için en uygun aday belirlenir. Hesaplamalar Eşitlik 13- 16 olarak verilmiştir.

$$k_{ia} = \frac{P_i + S_i}{\sum_{i=1}^m (P_i + S_i)} \quad (13)$$

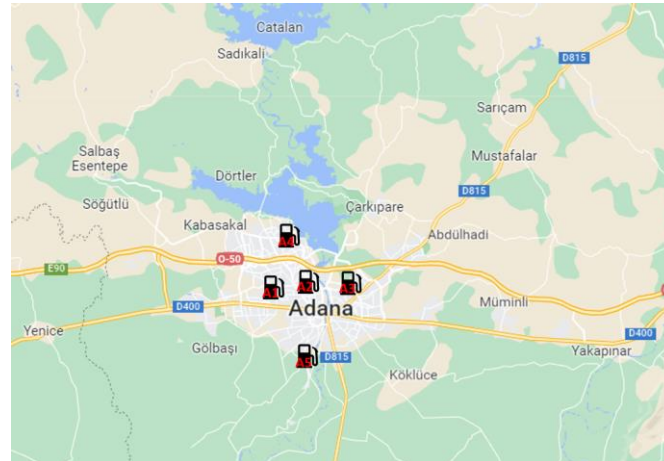
$$k_{ib} = \frac{S_i}{\min S_i} + \frac{P_i}{\min P_i} \quad (14)$$

$$k_{ic} = \frac{\lambda S_i + (1 - \lambda) P_i}{\lambda \max S_i + (1 - \lambda) \max P_i}, 0 \leq \lambda \leq 1 \quad (15)$$

$$k_i = \sqrt[3]{k_{ia} * k_{ib} * k_{ic}} + \frac{k_{ia} + k_{ib} + k_{ic}}{3} \quad (16)$$

3.3. Problem tanımı ve Uygulama (Problem definition and Application)

Orta ölçekli bir petrol firması Adana şehrinde yeni bir istasyon kurmak istemektedir. Bu amaçla seçilen 5 aday lokasyon 3 karar verici tarafından değerlendirilmiştir. Karar vericiler, aday yerleri 10 kriter üzerinden değerlendirmiştir. Şekil 1'de aday lokasyonlar harita üzerinde görülmektedir. Bu lokasyonlardan, A1, A2, A3 veya A4'ün seçilmesi durumunda sıfırdan kurulum olacaktır ancak, A5 seçilirse varolan bir istasyonun geliştirilerek ve genişletilerek yenilenmesi gerçekleşecektir. Çünkü A5 lokasyonunda halihazırda eski bir istasyon bulunmaktadır.



Şekil11. Petrol İstasyonu için Aday Lokasyonlar (Candidate Locations for Gas Station)

Çalışmada varolan 9 kriter literatür çalışmaları incelenerek belirlenmiştir. Literatürde varolan kriterlere ilişkin veriler Tablo 2'de verilmiştir. Bunun yanısıra çalışmaya yeni bir kriter de eklenmiştir. Bu kriter, sözleşme süresi

olup, karar verme aşamasında kısa olan sözleşmeler, elektrikli araç istasyonu gibi yeni nesil istasyonlara dönüşme potansiyeli olmayan petrol istasyonlarının kalıcılığını tehdit eden bir unsur olarak algılanabilmektedir.

Tablo 2. Kriter- Literatür Çalışması Tablosu (Criteria – Literature Study Table)

Kriter	İlgili Literatür Çalışması
Görünürlük	Toksoy Erdoğan, 2012; Erbaş ve ark., 2018
Elektrikli Araç İstasyonuna Yakınlık	Erbaş ve ark., 2018
Ulaşılabilirlik	Toksoy Erdoğan, 2012
Ek servis	Toksoy Erdoğan, 2012; Zhao ve Li, 2016;
Trafik durumu	Mokhtarian, 2011; Zhao ve Li, 2016; Otay ve Atik, 2021; Feng ve ark.,2021
Atık oranı- tarım arazilerine yakınlık	Zhao ve Li, 2016; Feng ve ark.,2021
Nüfus yoğunluğu	Toksoy Erdoğan, 2012; Zhao ve Li, 2016; Erbaş ve ark., 2018
Rakiplerin etkinliği	Toksoy Erdoğan, 2012
Maliyet	Toksoy Erdoğan, 2012; Zhao ve Li, 2016; Feng ve ark., 2021

Çalışmada kullanılan kriterler Tablo 3’de verilmiştir. Kriterler görünürlük gibi en çok olması istenen kriterleri içerebildiği gibi maliyet gibi en az olması istenen kriterleri de içermektedir. Bu nedenle, karar vericilerin değerlendirme yaparken negatif yönlü kriterler için (örneğin maliyet gibi) en düşük olana en iyi puanı vermeleri istenmiştir. Bu nedenle bütün analizler kriterlerin pozitif yönlü olduğu düşünülerek yapılmıştır.

Tablo 3. Kriterler (Criteria)

Görünürlük	K1
Elektrikli Araç İstasyonuna Yakınlık	K2
Ulaşılabilirlik	K3
Ek servis	K4
Trafik durumu	K5
Atık oranı- Tarım arazilerine yakınlık	K6
Nüfus yoğunluğu	K7
Sözleşme süresi	K8
Rakiplerin etkinliği	K9
Maliyet	K10

Tablo 3’de verilen kriterlerden K1, istasyonun araçlar tarafından görünür olması ile ilgili olan kriterdir. İstasyonun araçlar tarafından fark edilir olması açısından önemlidir. K2 için o bölgede hibrit araçlar bulunduğu göstergesi olabileceği söylenebilir. K3, istasyona ulaşımın kolay olması ile ilgili olan kriterdir. Günümüzde, sürücülerin istasyon tercihlerinde hijyenik ortamlar, kafeler gibi servislerin önemli etkisi olduğu bilinmektedir. K4 bu amaçla eklenen kriterdir. K5 kriteri için, yoğun trafik ortamında istasyonun işlek olabileceği söylenebilir. Yine yoğun trafik ortamında hız da yapılamayacak olması fark edilirliliği arttıracaktır. K6, çevresel sorumluluğun önemli olduğunu belirten kriterdir. K7 potansiyel müşteri sayısı ile bağıntılı olan bir kriterdir. K8, yeni bir kriter olup, kısa olan sözleşmelerin elektrikli araç istasyonu gibi yeni nesil istasyonlara dönüşme potansiyeli olmayan petrol istasyonlarının kalıcılığını tehdit eden bir unsur olarak algılanabildiği baz alınarak oluşturulmuş bir kriterdir. Elektrikli araç kullanımının yaygınlaşması, elektrikli araç şarj istasyonlarına olan ihtiyacı arttıracaktır. Bu durumda gerekli alt yapı ve hazırlığa sahip petrol istasyonları elektrikli araç şarj istasyonlarına dönüşümünü sağlayarak varlığını sürdürebilecektir. Ancak bu koşullara sahip olmayan petrol istasyonlarının kalıcılıkları tehdit altında olacaktır. Uzun sözleşme süreleri dönüşüm için gerekli altyapıya sahip olmayan petrol istasyonlarının varlığını sürdürmeleri açısından risk taşımaktadır. K9 rakiplerle ilgili bir kriterdir ve K10 da kurulum ve işletme maliyetlerini kapsayan son kriter olarak belirlenmiştir.

Karar vericiler olarak sektörde 10 yıldan uzun deneyime sahip bir istasyon sahibi (KV1), yer seçimi için katkı sunmak üzere şehir planlama uzmanı (KV2) ve tesis yer seçimi konusunda deneyime sahip bir akademisyen (KV3) seçilmiştir. Karar vericiler farklı uzmanlık alanlarına sahip olduğundan değerlendirmeleri farklı olabilmektedir. Bu nedenle karar vericilerin de ağırlıklandırılarak değerlendirmenin nihâi hali ortaya konulmalıdır. Karar vericilerin ağırlıklarının belirlenmesi için dilsel değişkene ait sayısal değerleri deneyim sürelerine bağlı olarak sırasıyla 2,3 ve 4 olarak belirlenmiş olup, Eşitlik 4’e göre $q=3$ için $\lambda_i = [0.3842, 0.3314, 0.2844]$ olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4 ve 5'te kriter ağırlıklarının ve alternatiflerin değerlendirilmesi için uzmanlar tarafından yapılan değerlendirme matrisleri sunulmuştur. Tablo 4'te karar vericilerin, her bir lokasyon için yaptığı değerlendirmeler dilsel değişken değeri olarak verilmiştir. Hesaplamalar yapılırken bu Tablo 4 üzerindeki değerler ile karar verici ağırlıkları kullanılmıştır. Tablo 5'te ise karar vericiler tarafından yapılan ve kriterlerin ağırlıklandırılmasını sağlayan değerler yer almaktadır.

Tablo 4. Karar Vericiler Tarafından Alternatiflerin Değerlendirilmesi (Evaluation of Alternatives by Decision Makers)

Kriterler	Alternatifler	KV1	KV2	KV3	Kriterler	Alternatifler	KV1	KV2	KV3
K1	A1	5	4	3	K6	A1	2	3	4
	A2	1	2	2		A2	4	5	7
	A3	2	3	2		A3	6	7	9
	A4	3	2	3		A4	6	5	7
	A5	6	4	3		A5	1	1	2
K2	A1	8	5	7	K7	A1	3	4	3
	A2	7	6	6		A2	1	2	1
	A3	6	4	4		A3	2	1	2
	A4	6	5	6		A4	4	3	4
	A5	8	6	7		A5	6	5	7
K3	A1	2	3	1	K8	A1	2	3	2
	A2	2	1	1		A2	6	7	5
	A3	3	2	3		A3	5	6	4
	A4	4	4	2		A4	6	5	6
	A5	3	3	1		A5	1	2	2
K4	A1	3	3	3	K9	A1	4	5	3
	A2	6	5	5		A2	2	4	3
	A3	6	4	6		A3	1	1	1
	A4	5	6	4		A4	3	4	3
	A5	2	2	1		A5	6	8	6
K5	A1	6	5	3	K10	A1	2	1	2
	A2	1	1	1		A2	3	5	4
	A3	1	3	1		A3	5	7	8
	A4	5	6	5		A4	4	6	4
	A5	3	7	1		A5	1	1	1

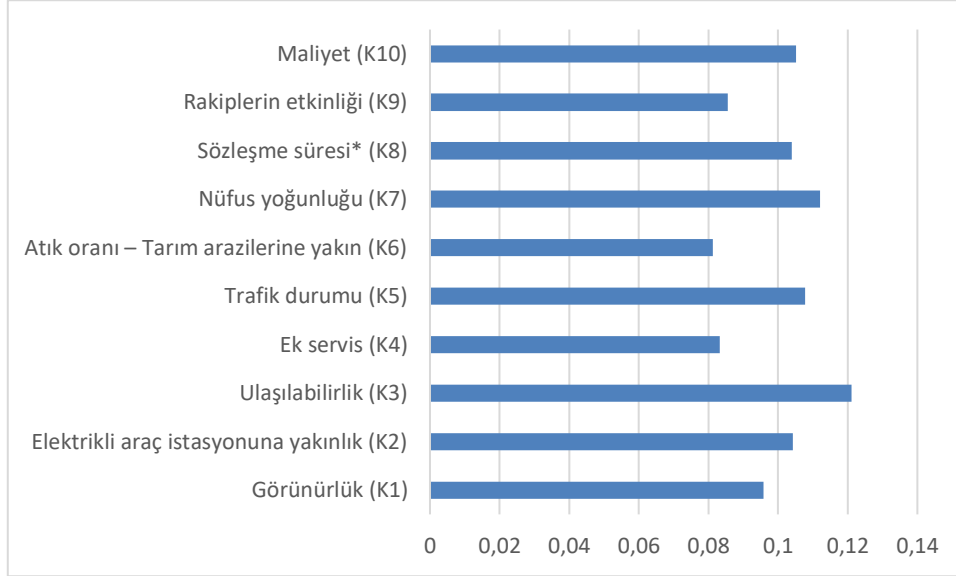
Tablo 5. Kriter ağırlıklarının belirlenmesi için karar matrisi (Decision Matrix for Evaluating Criteria Weights)

Kriterler	KV1	KV2	KV3
Görünürlük (K1)	1	4	5
Elektrikli araç istasyonuna yakınlık (K2)	4	2	1
Ulaşılabilirlik (K3)	2	1	1
Ek servis (K4)	3	4	5
Trafik durumu (K5)	1	3	3
Atık oranı - Tarım arazilerine yakın (K6)	5	3	4
Nüfus yoğunluğu (K7)	1	3	2
Sözleşme süresi * (K8)	1	3	4
Rakiplerin etkinliği (K9)	4	5	2
Maliyet (K10)	2	3	2

4. Hesaplama Sonuçları (Computational Results)

4.1. Kriter Ağırlıklarının Değerlendirilmesi (Evaluation of Criteria Weights)

Kriter ağırlıkları Şekil 2 ve Tablo 6'da görülmekte olup, en önemli kriterin ulaşılabilirlik (K3) olduğu görülmektedir. Bunun dışında, nüfus yoğunluğu (K7), elektrikli araç istasyonlarına yakınlık (K2), maliyet (K10) ve sözleşme süresi (K8) en yüksek ağırlığa sahip alternatifler olarak belirlenmiştir. Atık oranı – tarım arazilerine yakınlık (K6) ve ek servis (K4) ise en düşük ağırlığa sahip olan kriterlerdir.



Şekil 2. Kriter Ağırlıkları (Criteria Weights)

Tablo 6. Kriter Ağırlıkları (Criteria Weights)

Kriter	Ağırlık	Önem Sırası
Görünürlük (K1)	0.0958	7
Elektrikli araç istasyonuna yakınlık (K2)	0.1043	5
Ulaşılabilirlik (K3)	0.1211	1
Ek servis (K4)	0.0832	9
Trafik durumu (K5)	0.1077	3
Atık oranı- Tarım arazilerine yakın (K6)	0.0812	10
Nüfus yoğunluğu (K7)	0.1120	2
Sözleşme süresi (K8)	0.1039	6
Rakiplerin etkinliği (K9)	0.0856	8
Maliyet (K10)	0.1052	4

4.2. q-ROF TOPSIS Yöntemi Sonuçları (Results of q-ROF TOPSIS Method)

Tablo 7'de görülen yöntem sonuçlarına göre sıralama sonucunda en uygun alternatif sıralaması A5-A2-A1-A3-A4 şeklinde gerçekleşmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde, A5 ve A2 alternatiflerinin birbirine yakın olduğu görülmektedir. Bu nedenle, duyarlılık analizi sonucunda en doğru alternatifin bulunması ya da diğer yöntemlerden elde edilecek sonuçlarla doğrulama yapılması ideal alternatifin seçiminde önemli olabilir. Diğer alternatif sıralamaları göz önüne alındığında özellikle A4'ün diğerlerine göre daha düşük sıralamaya sahip olduğu görülmektedir.

Tablo 7. q-ROF TOPSIS yöntemi sonuçları (Results of q-ROF TOPSIS method)

	S*	S-	C _i *	Sıralama
A1	0.0805	0.0780	0.4921	3
A2	0.0728	0.0857	0.5405	2
A3	0.0846	0.0739	0.4663	4
A4	0.1207	0.0378	0.2384	5
A5	0.0725	0.0860	0.5426	1

4.3. q-ROF CoCoSo Yöntemi Sonuçları (Results of q-ROF CoCoSo Method)

Q-ROF CoCoSo yönteminin sonuçları Tablo 8'de görülmektedir. Yöntemin uygulanması sonucunda en uygun alternatif sıralaması A2-A5-A3-A4-A1 şeklinde gerçekleşmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde, A2 ve A5 alternatiflerinin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Yine, diğer metod için de geçerli olduğu gibi duyarlılık analizi sonucunda en doğru alternatifin bulunması ya da diğer yöntemlerden de elde edilecek sonuçlarla doğrulama yapılması ideal alternatifin seçiminde önemli olabilir. Diğer alternatif sıralamaları göz önüne alındığında A1 ve A4'ün diğerlerine göre daha düşük sıralamaya sahip olduğu görülmektedir.

Tablo 8. q-ROF CoCoSo yöntemi sonuçları (Results of q-ROF CoCoSo method)

	S_i	P_i	$k1_i$	$k2_i$	$k3_i$	k_i	Sıralama
A1	0.698687	9.632347	0.19609	2	0.823378	1.692549	5
A2	0.848561	9.82408	0.202574	2.234415	1	1.913465	1
A3	0.818583	9.789336	0.201346	2.1879	0.964671	1.869797	3
A4	0.72982	9.673612	0.197465	2.048844	0.860067	1.738817	4
A5	0.846375	9.823669	0.202525	2.231242	0.997423	1.910447	2

4.4. Yöntemlerin Kıyaslanması (Comparison of Methods)

Tablo 7 ve Tablo 8'de ortaya konulan sonuçlar incelendiğinde iki yöntemin sonuçlarında benzerlikler ve farklılıklar görülmektedir. Her iki yaklaşım da en iyi çözümü ayırt etme konusunda benzer yaklaşımlar sergilemişlerdir. q-ROF TOPSIS yönteminde göreceli yakınlıklara bakıldığında A2 ve A5 alternatiflerinin 0.5405 ve 0.5426 değerlerini aldıkları görülmektedir. q-ROF CoCoSo yönteminde de benzer şekilde göreceli ağırlıklara göre yine A2 ve A5 alternatiflerinin 1.9134 ve 1.9104 değerlerini aldıkları görülmektedir. Buna göre her iki yöntem için de en iyi çözümü belirleme konusunda benzer yaklaşım sergiledikleri yorumlanabilir. Küçük farklılıklara göre sıralamalar q-ROF TOPSIS için A5 ve A2 şeklinde olurken, q-ROF CoCoSo için A2 ve A5 olmuştur. Buna göre, en iyi alternatifin A2 ve A5 olduğu söylenebilir. Benzer yorumlar A3 ve A4'ün sıralamasında da yapılabilir. Her iki yöntem de A3 alternatifini A4 alternatifine göre daha önemli olarak sıralamıştır. Yöntemler arasındaki en önemli farklılık A1'in sıralamasındadır. q-ROF TOPSIS yöntemi en iyi ve en kötü çözümlere uzaklık odaklı hesaplama yaparken, q-ROF CoCoSo yöntemi farklı ağırlıklandırma yaklaşımlarına göre oluşturulan değerlendirme puanları bazlı bir yaklaşım sergilemektedir. Bu nedenle, kriter ağırlıkların etkisinden dolayı A1 alternatifinin iki yöntemde farklı sıralamalar aldığı görülebilir.

4.5. Duyarlılık Analizi (Sensitivity Analysis)

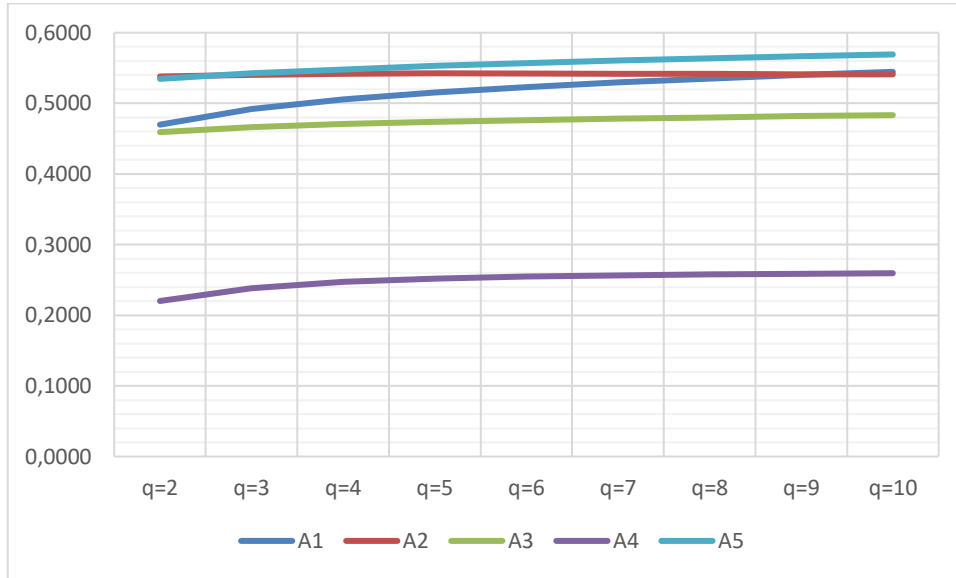
Q-ROF TOPSIS yönteminde seçilen q değeri sonuç üzerinde etkili olabilmektedir. Bu nedenle farklı q değerlerinin değerlendirilmesi ve yöntemin belirlediği sıralamalar üzerindeki etkisi tartışılmalıdır. Tablo 9'da görülebileceği üzere q değerinin neredeyse tüm değerlerinde A2 ve A5 alternatiflerinin en iyi iki alternatif olduğu görülmektedir. q için belirlenen parametre değerlerinin 2 dışındaki tüm değerleri için ise en iyi alternatif A5 olmaktadır. Bu durum, parametre seçiminin q-ROF TOPSIS yöntemiyle yapılan uygulamada sonuç üzerinde önemli bir etkisinin olmadığını göstermektedir. Pınar ve Boran (2020), p değerini 1 almıştır. Bu çalışmada da p değeri 1 olarak kabul edilmiştir.

Tablo 9. q-ROF TOPSIS yöntemi için duyarlılık analizi sonuçları (Sensitivity analysis results of q-ROF TOPSIS)

	q değeri								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A1	0.4698	0.4921	0.5056	0.5153	0.5230	0.5296	0.5352	0.5402	0.5446
A2	0.5380	0.5405	0.5417	0.5422	0.5422	0.5420	0.5416	0.5412	0.5408
A3	0.4592	0.4663	0.4706	0.4738	0.4763	0.4784	0.4802	0.4818	0.4832
A4	0.2202	0.2384	0.2474	0.2522	0.2549	0.2567	0.2579	0.2587	0.2595
A5	0.5347	0.5426	0.5482	0.5527	0.5567	0.5603	0.5636	0.5665	0.5692

Q-ROF TOPSIS yöntemi için alternatiflerin farklı q değerlerine göre sıralama puanlarındaki değişim Şekil 3'te görülmektedir. Buna göre A1 için farklı q değerlerine göre sıralama puanının arttığı, diğer alternatifler için görece

sabit kaldığı görülmektedir.



Şekil 3. q-ROF TOPSIS için alternatiflerin q değerlerine göre nihai sıralamalarının değişimi (Changes in the order of candidates based on q value for q-ROF TOPSIS)

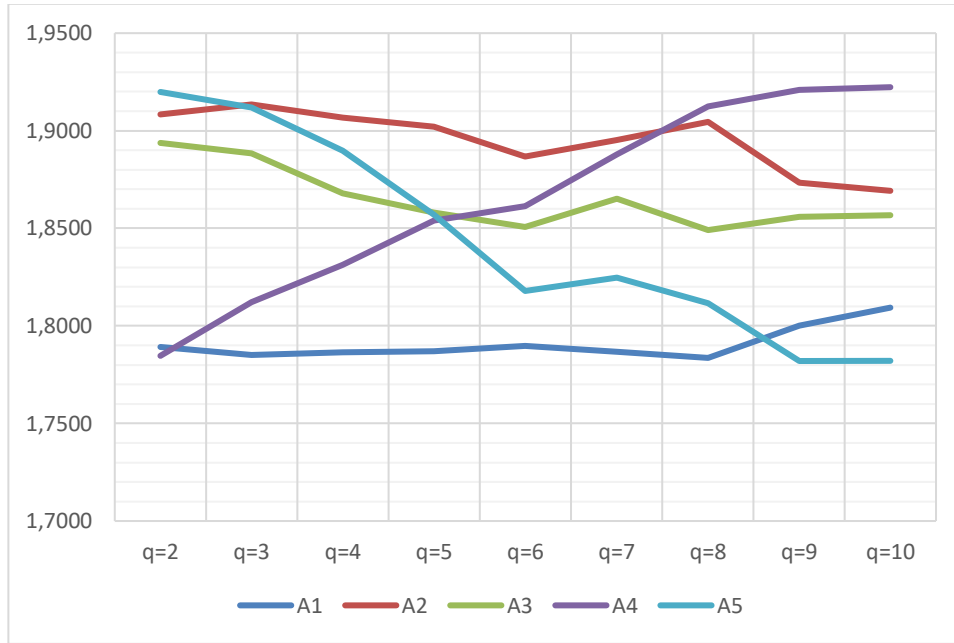
q-ROF CoCoSo yönteminin q ve λ olmak üzere iki kullanıcı tanımlı parametresi bulunmaktadır. Yapılan duyarlılık analizi sonuçlarına göre Tablo 10 incelendiğinde λ parametresinin sonuç üzerinde etkisi olmadığı net bir şekilde görülmektedir. Hesap değerleri λ değerlerine bağlı değişse de sıralama üzerinde bir etkisi bulunmamaktadır. q değerleri ise sonuç üzerinde sınırlı düzeyde etkilidir. $q=2$ değerini aldığımda, en iyi iki alternatif A5 ve A2 olmaktadır. Buna ek olarak q , 3 ile 5 arasında değiştiğinde en iyi iki alternatif A2 ve A5 olmakta iken 6 ve sonrasında A2 ve A4 olmaktadır. Buna göre sonuç üzerinde q değerinin bir etkisi bulunmakla birlikte en iyi alternatiflerin A2-A5-A4 olarak sıralanması sıklıkla değişmemektedir. Çalışmada $q = 3$ ve $\lambda = 1$ olarak alınmıştır.

Tablo 10. q-rof CoCoSo yöntemi için duyarlılık analizi sonuçları (Sensitivity analysis results of q-ROF CoCoSo)

q=2	λ									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
A1	1.7893	1.7882	1.7869	1.7852	1.7828	1.7796	1.7747	1.7664	1.7495	1.6962
A2	1.9084	1.9083	1.9081	1.9080	1.9078	1.9075	1.9071	1.9064	1.9049	1.9005
A3	1.8938	1.8935	1.8932	1.8929	1.8924	1.8917	1.8907	1.8889	1.8854	1.8745
A4	1.7846	1.7835	1.7821	1.7803	1.7779	1.7746	1.7695	1.7609	1.7434	1.6881
A5	1.9199	1.9199	1.9199	1.9199	1.9199	1.9199	1.9199	1.9199	1.9199	1.9199
q=3	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
A1	1.7852	1.7841	1.7828	1.7811	1.7788	1.7755	1.7707	1.7625	1.7457	1.6925
A2	1.9135	1.9135	1.9135	1.9135	1.9135	1.9135	1.9135	1.9135	1.9135	1.9135
A3	1.8884	1.8882	1.8879	1.8875	1.8871	1.8864	1.8854	1.8838	1.8804	1.8698
A4	1.8121	1.8113	1.8102	1.8089	1.8070	1.8045	1.8006	1.7941	1.7808	1.7388
A5	1.9119	1.9119	1.9119	1.9119	1.9118	1.9118	1.9117	1.9116	1.9113	1.9104
q=4	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
A1	1.7865	1.7855	1.7842	1.7826	1.7804	1.7773	1.7727	1.7649	1.7490	1.6988
A2	1.9068	1.9068	1.9068	1.9068	1.9068	1.9068	1.9068	1.9068	1.9068	1.9068
A3	1.8680	1.8676	1.8672	1.8667	1.8660	1.8650	1.8636	1.8611	1.8561	1.8404
A4	1.8313	1.8307	1.8299	1.8288	1.8275	1.8255	1.8226	1.8177	1.8077	1.7764
A5	1.8898	1.8897	1.8895	1.8893	1.8890	1.8885	1.8879	1.8868	1.8845	1.8775
q=5	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
A1	1.7871	1.7861	1.7849	1.7833	1.7812	1.7783	1.7738	1.7663	1.7511	1.7035
A2	1.9022	1.9022	1.9022	1.9022	1.9022	1.9022	1.9022	1.9022	1.9022	1.9022

A3	1.8582	1.8578	1.8573	1.8567	1.8560	1.8549	1.8532	1.8504	1.8448	1.8274
A4	1.8540	1.8536	1.8531	1.8524	1.8515	1.8502	1.8483	1.8451	1.8387	1.8187
A5	1.8569	1.8565	1.8561	1.8555	1.8547	1.8536	1.8519	1.8491	1.8434	1.8258
q=6	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
A1	1.7898	1.7890	1.7879	1.7865	1.7847	1.7821	1.7783	1.7718	1.7587	1.7179
A2	1.8868	1.8868	1.8868	1.8868	1.8868	1.8868	1.8868	1.8868	1.8868	1.8868
A3	1.8508	1.8505	1.8501	1.8496	1.8489	1.8480	1.8466	1.8443	1.8395	1.8250
A4	1.8614	1.8612	1.8609	1.8605	1.8600	1.8593	1.8583	1.8566	1.8531	1.8423
A5	1.8179	1.8173	1.8166	1.8157	1.8145	1.8128	1.8102	1.8060	1.7973	1.7706
q=7	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
A1	1.7867	1.7858	1.7846	1.7832	1.7812	1.7784	1.7743	1.7673	1.7532	1.7096
A2	1.8952	1.8952	1.8952	1.8952	1.8952	1.8952	1.8952	1.8952	1.8952	1.8952
A3	1.8652	1.8649	1.8646	1.8642	1.8637	1.8629	1.8617	1.8598	1.8558	1.8438
A4	1.8878	1.8878	1.8877	1.8876	1.8874	1.8872	1.8869	1.8864	1.8853	1.8822
A5	1.8248	1.8242	1.8235	1.8226	1.8213	1.8196	1.8170	1.8126	1.8037	1.7764
q=8	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
A1	1.7836	1.7825	1.7812	1.7795	1.7773	1.7741	1.7694	1.7614	1.7454	1.6962
A2	1.9046	1.9045	1.9044	1.9043	1.9042	1.9040	1.9037	1.9032	1.9022	1.8991
A3	1.8491	1.8486	1.8479	1.8471	1.8461	1.8445	1.8423	1.8385	1.8308	1.8076
A4	1.9126	1.9126	1.9126	1.9126	1.9126	1.9126	1.9126	1.9126	1.9126	1.9126
A5	1.8116	1.8108	1.8098	1.8085	1.8068	1.8043	1.8007	1.7945	1.7822	1.7444
q=9	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
A1	1.8002	1.7992	1.7980	1.7964	1.7942	1.7912	1.7867	1.7792	1.7642	1.7187
A2	1.8734	1.8730	1.8725	1.8719	1.8711	1.8700	1.8683	1.8655	1.8598	1.8430
A3	1.8558	1.8553	1.8546	1.8537	1.8526	1.8510	1.8486	1.8446	1.8367	1.8128
A4	1.9208	1.9208	1.9208	1.9208	1.9208	1.9208	1.9208	1.9208	1.9208	1.9208
A5	1.7820	1.7809	1.7795	1.7777	1.7753	1.7720	1.7670	1.7587	1.7419	1.6911
q=10	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
A1	1.8093	1.8084	1.8072	1.8057	1.8037	1.8008	1.7966	1.7895	1.7753	1.7330
A2	1.8692	1.8688	1.8682	1.8675	1.8666	1.8653	1.8633	1.8601	1.8536	1.8344
A3	1.8567	1.8561	1.8554	1.8545	1.8534	1.8517	1.8493	1.8452	1.8370	1.8129
A4	1.9223	1.9223	1.9223	1.9223	1.9223	1.9223	1.9223	1.9223	1.9223	1.9223
A5	1.7821	1.7809	1.7795	1.7777	1.7752	1.7718	1.7666	1.7581	1.7409	1.6894

Şekil 4 incelendiğinde özellikle A5 ve A4'ün farklı q değerlerine göre sıralama puanlarının ters yönlü değiştiği gözlenmektedir. Ancak A2 alternatifi için q değerinden bağımsız sıralamanın genellikle yüksek olduğu söylenebilir.



Şekil 4. q-ROF CoCoSo için alternatiflerin q değerlerine göre nihai sıralamalarının değişimi (Changes in the order of candidates based on q value for q-ROF CoCoSo)

5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Petrol istasyonları mobilite için önemli noktalardan birisidir. Özellikle artan elektrikli araç talebi ile birlikte düşen menziller petrol/yakıt istasyon seçimi problemi önemli bir problem haline getirmiştir. Halen elektrikli araçlara dönüşüm sürerken fosil yakıtların kullanımı sürmekte olup, bu çalışmada bu nedenle yakıt istasyon seçimi araştırılmıştır. Böylece karar vericilerin kullanabileceği bir seçim yaklaşımı ve uygulama sonucunda Adana bölgesi için istasyon yer seçimi gerçekleştirilmiştir.

Analiz sonuçlarına göre 10 kriter önemli olabilecek kriterler olarak belirlenmiş ve buna göre Adana ilinde uzmanlar tarafından seçilen 5 alternatif nokta sıralanmıştır. Kriterler literatürden alındığı gibi, özgün kriterler de çalışmaya eklenmiştir. En önemli kriter olarak; ulaşılabilirlik (K3) kriteri belirlenmiş olup nüfus yoğunluğu (K7), elektrikli araç istasyonlarına yakınlık (K2), maliyet (K10) ve sözleşme süresi (K8) kriterleri de en yüksek ağırlığa sahip kriterler olarak belirlenmiştir. Atık oranı - tarım arazilerine yakınlık (K6) ve ek servis (K4) ise en düşük ağırlığa sahip kriterlerdir. Alternatiflerin sıralanması değerlendirildiğinde ise A2 ve A5 lokasyonları hem q-ROF TOPSIS hem de q-ROF CoCoSo yöntemlerine göre en başarılı alternatifler olarak değerlendirilmiştir.

Çalışmada objektif değerlendirmeler için oluşturulan bulanık genişletmelerden q-ROF yaklaşımını içeren iki yöntem kullanılmıştır. Gelecekte farklı çok kriterli karar verme yöntemlerinin de denenmesi mümkün olabilir. İncelenen problem farklı kriterler için genelleştirilebilir ve son olarak daha fazla karar verici ile verilen kararın etkinliği artırılabilir.

Bu çalışma, literatürde bilindiği kadarıyla petrol istasyon seçim problemi ile q-ROF bulanık sayı tabanlı yaklaşımların ele alındığı ilk çalışmadır. Ayrıca, incelenen çok kriterli karar verme yöntemlerine yeni kriter eklenmesi de problemin literatürüne katkı sağlamaktadır. Q-ROF TOPSIS ve q-ROF CoCoSo yöntemleriyle ilgili literatürde yapılan çalışmalar sınırlıdır. Çalışmada ortaya konulan kriterler benzer yer seçimi problemlerine adapte edilebilir, önerilen yaklaşım yer seçiminde karar vericilere destek sağlayabilir ve önerilen yöntemlerle ilgili farklı uygulamalara öncülük edebilir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

Acknowledgement

Bu çalışma 41. YAEM konferansında özet bildiri olarak kabul edilmiş ve sözlü sunum olarak sunulmuştur. This study was accepted as an abstract and was presented as an oral presentation at 41st YAEM congress in Denizli, 2022.

Kaynaklar (References)

- Abdullah, H. M., Gastli, A., Ben-Brahim, L., & Mohammed, S. O., 2022. Integrated Multi-Criteria Model for Long-Term Placement of Electric Vehicle Chargers. *IEEE Access*, 10, 123452-123473.
- Alavipoor, F. S., Karimi, S., Balist, J., & Khakian, A. H., 2016. A geographic information system for gas power plant location using analytical hierarchy process and fuzzy logic. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 2(2), 197-207.
- Atanassov, K.T., 1986. Intuitionistic Fuzzy Sets. *Fuzzy Sets and Systems*, 20, 87-96.
- Ayyildiz, E., & Taskin Gumus, A., 2020. A novel spherical fuzzy AHP-integrated spherical WASPAS methodology for petrol station location selection problem: a real case study for İstanbul. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(29), 36109-36120.
- Bustince, H., Barrenechea, E., Fernández, J., Pagola, M., & Montero, J., 2015. The origin of fuzzy extensions. *Springer handbook of computational intelligence*, 89-112.
- Deveci, M., Simic, V., & Torkayesh, A. E., 2021. Remanufacturing facility location for automotive lithium-ion batteries: An integrated neutrosophic decision-making model. *Journal of Cleaner Production*, 317.
- Deveci, M., Pamucar, D., Cali, U., Kantar, E., Kölle, K., & Tande, J. O., 2022. Hybrid q-Rung Orthopair Fuzzy Sets Based CoCoSo Model for Floating Offshore Wind Farm Site Selection in Norway. *CSEE Journal of Power and Energy Systems*, 8(5), 1261-1280.
- Erbaş, M., Kabak, M., Özceylan, E., & Çetinkaya, C., 2018. Optimal siting of electric vehicle charging stations: A GIS-based fuzzy Multi-Criteria Decision Analysis. *Energy*, 163, 1017-1031.
- European Green Deal, 2019. https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/european-green-deal-communication_en.pdf. Erişim tarihi: 29.09.2022.
- Fakhari, F., Tavakkoli-Moghaddam, R., Tohidifard, M., & Ghaderi, S. F., 2019. Location Optimization of Gas Power Plants by a Z-Number Data Envelopment Analysis. In *Optimization of Complex Systems: Theory, Models, Algorithms and Applications* (pp. 926-936). Springer International Publishing.
- Feng, J., Xu, S. X., & Li, M., 2021. A novel multi-criteria decision-making method for selecting the site of an electric-vehicle charging station from a sustainable perspective. *Sustainable Cities and Society*, 65.
- Kannan, D., Moazzeni, S., Darmian, S. M. & Afrasiabi, A., 2020. A hybrid approach based on MCDM methods and Monte Carlo simulation for sustainable evaluation of potential solar sites in east of Iran. *Journal of Cleaner Production*, 279.
- Karagoz, S., Deveci, M., Simic, V., Aydin, N. & Bolukbas, U., 2020. A novel intuitionistic fuzzy MCDM-based CODAS approach for locating an authorized dismantling center: A case study of Istanbul. *Waste Management & Research*, 38(6), 1-13.
- Karagöz, S., Deveci, M., Simic, V. & Aydin, N., 2021. Interval type-2 fuzzy ARAS method for recycling facility location problems. *Applied Soft Computing*, 102.
- Karande, P. ve Chatterjee, P., 2018. Desirability function approach for selection of facility location: A case study. *IEOM Society International*, 1700-1708.
- Kumar, R., Athawale, V. M. ve Chakraborty, S., 2010. Facility location selection using the UTA method. *The IUP Journal of Operations Management*, 9(4), 21-34.
- Liu, H. C., Yang, M., Zhou, M., & Tian, G., 2018. An integrated multi-criteria decision making approach to location planning of electric vehicle charging stations. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 20(1), 362-373.
- Liu, P., & Wang, P., 2018. Some q-rung orthopair fuzzy aggregation operators and their applications to multiple-attribute decision making. *International Journal of Intelligent Systems*, 33(2), 259-280.
- Li, S., Su, B., St-Pierre, D. L., Sui, P. C., Zhang, G., & Xiao, J., 2017. Decision-making of compressed natural gas station siting for public transportation: Integration of multi-objective optimization, fuzzy evaluating, and radar charting. *Energy*, 140, 11-17.
- MirHassani, S. A., & Ebrazi, R., 2013. A flexible reformulation of the refueling station location problem. *Transportation Science*, 47(4), 617-628.
- Mokhtarian, M., 2011. A new fuzzy weighted average (FWA) method based on left and right scores: An application for determining a suitable location for a gas oil station. *Computers & Mathematics with Applications*, 61(10), 3136-3145.
- Njoku, C. G., & Alagbe, A. O., 2015. Site suitability assessment of petrol filling stations (PFSs) in Oyo Town, Oyo State, Nigeria: a geographic information systems (GIS) approach. *ISOR Journal of Environmental Science, Technology and Food Technology (ISOR-JESTFT)* e-ISSN, 2319-2402.
- Otay, I., Atik, S., 2021. Multi-criteria Oil Station Location Evaluation Using Spherical AHP&WASPAS: A Real-Life Case Study. In: Kahraman, C., Cevik Onar, S., Oztaysi, B., Sari, I., Cebi, S., Tolga, A. (ed.) *Intelligent and Fuzzy Techniques: Smart and Innovative Solutions. INFUS 2020. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol 1197, içinde (s. 591-598) Springer, Cham.
- Peng, X., & Huang, H., 2020. Fuzzy decision making method based on CoCoSo with critic for financial risk evaluation. *Technological and Economic Development of Economy*, 26(4), 695.
- Pinar, A., Boran, F. E., 2020. A q-rung orthopair fuzzy multi-criteria group decision making method for supplier selection based on a novel distance measure. *International Journal of Machine Learning and Cybernetics*, 11, 1749-1780.
- Pınar, A. 2021. Üçüncü Parti Lojistik Firma Seçiminde Q Seviyeli Bulanık TOPSIS Uygulaması. *Journal of the Turkish Operations Management (JTOM)*, 5(1), 588-597.
- Semih, T., Seyhan, S., 2011. A multi-criteria factor evaluation model for gas station site selection. *evaluation*, 2(1), 12-21.
- Şeker, S. ve Aydin, N., 2020. Hydrogen production facility location selection for Black Sea using entropy based TOPSIS under IVPF environment. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(32), 15855-15868.
- Toksoy Erdoğan, M., 2012. Çok Nitelikli Karar Verme Yöntemleri ve VIKOR Yöntemi ile bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.
- Torkayesh, A. E. ve Simic, V., 2022. Stratified hybrid decision model with constrained attributes: Recycling facility location for urban healthcare plastic waste. *Sustainable Cities and Society*, 77.

- Tripathi, A. K., Agrawal, S. & Gupta, R. D., 202. Comparison of GIS-based AHP and fuzzy AHP methods for hospital site selection: A case study for Prayagraj City, India. *GeoJournal*, 87.
- Wang, R., Li, Y., 2018. A novel approach for green supplier selection under a q-rung orthopair fuzzy environment. *Symmetry*, 10(12), 687.
- Xuan, H. A., Trinh, V. V., Kuaanan, T. & Phoungthong, K., 2022. Use of hybrid MCDM methods for site location of solar-powered hydrogen production plants in Uzbekistan. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 52.
- Yeşilkaya, M., 2018. Çok ölçütlü karar verme yöntemleri ile kağıt fabrikası kuruluş yeri seçimi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 33(4), 31-44.
- Yıldızhan, D., Erenoğlu, AK, Erdiñç, O., 2022. Elektrikli Araç Entegrasyonunun Dağıtım Sistemine Etkilerinin İncelenmesi ve Şarj İstasyonu Altyapısının Tayin Edilmesi, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 10(4), 1232- 1242.
- Yager, R. R., Alajlan, N., 2017. Approximate Reasoning With Generalized Orthopair Fuzzy Sets. *Information Fusion*, 38, 65-73.
- Zadeh, L. A., 1965. Fuzzy sets. *Information and control*, 8(3), 338-353.
- Zhao, H., Li, N., 2016. Optimal siting of charging stations for electric vehicles based on fuzzy Delphi and hybrid multi-criteria decision-making approaches from an extended sustainability perspective. *Energies*, 9(4), 270.
- Zhu, H., Zhao, J., & Li, H. , 2022. Q-ROF-SIR methods and their applications to multiple attribute decision making. *International Journal of Machine Learning and Cybernetics*, 1-13.



DİSLEKSİ VE DİSGRAFİ OLAN ÇOCUKLARIN OKUMA SIRASINDA BEYİN AKTİVİTELERİNİN FONKSİYONEL MR PSİKOFİZYOLOJİK ETKİLEŞİM ANALİZİ İLE İNCELENMESİ

Gizem Rüveyda SAĞIR, Semra İÇER*

Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye

Anahtar Kelimeler

*Gelişimsel Disleksi,
Gelişimsel Disgrafi,
Görev Tabanlı fMRI,
GLM Analizi,
PPI Analizi.*

Öz

Okuma ve yazma güçlükleri dünyada oldukça yaygın olan nörogelişimsel bozukluklardır. Okuma ve yazma güçlüğü olarak bilinen gelişimsel disleksi ve yazma güçlüğü olarak bilinen gelişimsel disgrafinin birlikte değerlendirildiği çalışma sayısı oldukça azdır. Bu çalışma, literatürdeki kısıtlı çalışmalara katkıda bulunmak amacıyla yapılmıştır. OpenfMRI'dan alınan veri setinde Almanca konuşan çocuklardan disleksi 20, disgrafi 16 ve kontrol grubundan 22 katılımcı bulunmaktadır. fMRI görevi, normal kelime ve sözde eş sesli kelimeleri sesli bir şekilde okumadır. Görevler sırasında tüm beyinde oluşan fonksiyonel aktivasyon analizi sonucunda, disgrafi grubu disleksi ve kontrol grubuna göre okuma ile ilgili olan bölgelerde hipoaktivasyon göstermiştir. Ek olarak disleksi grubunda ventral oksipitotemporal bölgede hipoaktivasyon gözlenmemiştir. Bununla birlikte fusiform girus, inferior frontal girus, precuneus ve precentral girus bölgeleri tohum olarak seçilip, ilgili tohum bölgesinin görevler sırasında fonksiyonel bağlantısını araştırmak amacıyla, psikofizyolojik etkileşim analizi yapılmıştır. Fonksiyonel bağlantı analizi sonucunda, disleksi grubunda diğer gruplara göre bağlantısallık yollarında bozulmalar gözlenmiştir. Disgrafi grubu ise kontrol grubu ile benzer bağlantı yolları göstermiştir.

EXAMINATION OF THE BRAIN ACTIVITIES OF CHILDREN WITH DYSLEXIA AND DYSGRAFIA DURING READING BY FUNCTIONAL MR PSYCHOPHYSIOLOGICAL INTERACTION ANALYSIS

Keywords

*Developmental Dyslexia,
Developmental Dysgraphia,
Task Based fMRI,
GLM Analysis,
PPI Analysis.*

Abstract

Reading and writing difficulties are neurodevelopmental disorders that are very common in the world. There are very few studies evaluating developmental dyslexia, known as reading and writing difficulties, and developmental dysgraphia, known as writing difficulties, together. This study was conducted to contribute to the limited studies in the literature. The data set from OpenfMRI includes 20 German-speaking children with dyslexia, 16 dysgraphia and 22 participants from the control group. The fMRI task is to read aloud normal words and pseudohomophones. As a result of the functional activation analysis in the whole brain during the tasks, the dysgraphia group showed hypoactivation in the regions related to reading compared to the dyslexia and control groups. In addition, no hypoactivation was observed in the ventral occipitotemporal region in the dyslexia group. In addition, fusiform gyrus, inferior frontal gyrus, precuneus and precentral gyrus regions were selected as seeds, and psychophysiological interaction analysis was performed to investigate the functional connection of the relevant seed region during tasks. As a result of functional connectivity analysis, impairments in connectivity pathways were observed in the dyslexia group compared to the other groups. The dysgraphia group, on the other hand, showed similar pathways to the control group.

Alıntı / Cite

Sağır, G.R., İçer, S., (2023). Disleksi ve Disgrafi Olan Çocukların Okuma Sırasında Beyin Aktivitelerinin Fonksiyonel MR Psikofizyolojik Etkileşim Analizi ile İncelenmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(4), 1310-1327.

* İlgili yazar / Corresponding author: ksemra@erciyes.edu.tr, +90-505-299-4288

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process	
G.R. Sağır, 0000-0001-7650-7340	Başvuru Tarihi / Submission Date	21.12.2022
S. İcer, 0000-0002-3323-9953	Revizyon Tarihi / Revision Date	05.07.2023
	Kabul Tarihi / Accepted Date	25.08.2023
	Yayın Tarihi / Published Date	30.12.2023

Examination of The Brain Activities of Children With Dyslexia And Dysgraphia During Reading By Functional MR Psychophysiological Interaction Analysis

Gizem Rüveyda SAĞIR, Semra İÇER[†]

Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye

Highlights

- During task-based fMRI, children with dyslexia, dysgraphia, and the control group performed a reading aloud task.
- Activations occurring in the brain during reading and functional connectivity were examined through psychophysiological interaction analysis in selected seed regions.
- No hypoactivation was observed in the ventral occipitotemporal region in the dyslexia group
- As a result of functional connectivity analysis, impairments in connectivity pathways were observed in the dyslexia group compared to the other groups

Purpose and Scope

In this study, children with dyslexia who have difficulty in reading and writing, children with dysgraphia who have difficulty in writing, and children in the control group are examined with task-based fMRI. The aim of this study is to investigate the similarities and differences in the activations that occur in the brains of the groups during reading.

Design/methodology/approach

The data set from OpenfMRI includes 20 German-speaking children with dyslexia, 16 dysgraphia and 22 participants from the control group. The fMRI task is to read aloud normal words and pseudohomophones. Whole brain analysis and psychophysiological interaction analysis were performed on the data set in the fMRI analysis program FSL FMRIB. Group differences resulting from the analysis were visualized and tables were made.

Findings

As a result of the functional activation analysis in the whole brain during the tasks, the dysgraphia group showed hypoactivation in the regions related to reading compared to the dyslexia and control groups. In addition, no hypoactivation was observed in the ventral occipitotemporal region in the dyslexia group.

Research limitations/implications

The limitations of the research include its reliance on a particular set of data and the potential for bias in the collection and analysis of the data.

Practical implications

The conclusions obtained in this study are that there are differences in the functional connections formed in the brains of the dyslexia and dysgraphia groups during reading. As a result of functional connectivity analysis, similarities were observed between the dysgraphia group and the control group. The changes that can be made in this study are to increase the number of people in the data set.

Originality

In this study, unlike other studies, psychophysiological interaction analysis was performed on the data set including dyslexia, dysgraphia and control groups.

[†] Corresponding author: ksemra@erciyes.edu.tr, +90-505-299-4288

1. Giriş (Introduction)

Gelişimsel disleksi, kelimeleri doğru veya akıcı okumada zorluk çekme, kelimeleri tanımada zorlanmalar, zayıf heceleme gibi zorluklarla ile kendini gösteren nörobiyolojik bir özel öğrenme güçlüğüdür. Bu zorluklar, diğer bilişsel yetenekler ve gerekli eğitimin sağlanması durumunun dışında beklenmedik bir şekilde ortaya çıkan dilin fonolojik bileşenindeki eksiklikten kaynaklanmaktadır (Lyon vd., 2003). Yazma bozukluğu olarak bilinen disgrafinin tanımı ise en geniş haliyle harflerin okunabilmesi, harflerin aralığı, heceleme, ince motor koordinasyonları, yazma hızı ile ilgili sorunlar dahil olmak üzere herhangi bir aşamada yazı yazma yeteneğinin bozulmasıdır (Chung vd., 2020).

Okuma ve yazma bozukluklarının dünya üzerinde yaygınlığının yaklaşık olarak %7-17 olduğu bildirilmektedir (S. E. Shaywitz & Shaywitz, 2005). Okuma ve yazma bozukluğu olarak bilinen disleksinin, daha iyi anlaşılabilmesi çeşitli teoriler ortaya atılmıştır. Bu teorilerden biri olan fonolojik açıklık teorisi, "fonolojik eksiklik genellikle üç ana bileşene sahip olarak tanımlanır: zayıf fonolojik farkındalık (konuşma seslerine bilinçli olarak erişme ve bunları manipüle etme yeteneği), yavaş sözcüksel geri çağırma ve zayıf sözlü kısa süreli bellek" şeklindedir (Ramus, 2004). Nörolojik olarak, bozukluğun kaynağının, fonolojik temsilin (ses) ve ortografik temsilin (harf sistemi) arasındaki bağlantının altında yatan beynin sol yarımküre alanlarının doğuştan gelen bir nörogelişimsel bozulmadan kaynaklandığı varsayılır (Ramus, 2003). Yapılan çalışmalarda da disleksili okuyucuların okuma görevlerini gerçekleştirirken sol yarım küre arka beyin sistemlerinin bozulması bir nörolojik imza olarak bildirilmektedir (Ramus, 2004; Richlan, 2020; Vellutino vd., 2004). Disleksiye açıklamak için başvurulan diğer teoriler ise; hızlı işitsel işleme teorisi (Tallal, 1980), görsel teori (Eden vd., 1996), serebellar (beyincik) teorisi (Nicolson vd., 2001) ve bu teorilerin birleştirilmiş hali olan magnoselüler teoridir (Stein ve Walsh, 1997).

Gelişimsel disgrafi ile ilgili de çeşitli hipotezler vardır. Bunlardan biri olan kısmi işaret hipotezinde izole yazım bozukluğu olan çocuklar okuma için yeterli olan ama yazma için yeterli olmayan eksik belirlenmiş ortografik temsillerinin olduğunu varsayar (Frith, 1980). (aktaran Banfi vd., 2021). Bunun sonucunda ise kelimeleri doğru bir şekilde tanımlayamazlar ve kendi kendine öğretme hipotezinin öngördüğü şekilde kesin ortografik temsiller oluşturamazlar. Kendi kendine öğretme hipotezinde yabancı bir kelimeyi öğrenirken o kelimenin kodunun çözülmesi ve kelimeye özel bilgi edinme olanağı sağladığından bahsedilmektedir (Share, 1995). Bir diğer hipotez ise aşırı güven hipotezidir. Bu hipotezde daha önce öğrenilmiş olan kelimeler uzun süreli bellekte imla sözlüğünde depolanırken, sözde eş sesli kelimeler imla sözlüğünde saklanmaz. Moll ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada disgrafili çocukların sözde eş sesli kelimelere normal kelimeler kadar hızlı yanıt vermelerinin sonucunda, bu çocukların sözcük okuma sırasında eksik olan imla bilgilerini telafi ettiklerini ve alt sözcüksel işlemlere aşırı güvenmenin bir göstergesi olduğunu vurgulamışlardır (Moll ve Landerl, 2009).

2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Disleksi üzerine yapılan çalışmalar disgrafiye göre daha fazladır. Disleksi ile ilgili yapılan çalışmada, Wang ve arkadaşları disleksili çocukların putamen bölgesine odaklanmışlardır. Putamenin, yapısal ve fonksiyonel bağlantıları incelenmiştir. Bu çalışmanın (Chung vd., 2020) sonucunda sol putamen hacminin disleksili çocuklarda aynı yaştaki ve okuma eşleştirilmiş çocuklara kıyasla daha az olduğu bulunmuştur. Hacimsel olarak farklılık gösteren putamenin fonolojik bir görev (işitsel kafiye yargısı) sırasında fonksiyonel bağlantısının kontrol grubunda sağ alt oksipital girusun disleksi grubuna göre daha fazla bağlantılı olduğu bulunmuştur (Wang vd., 2019). Bu da konuşulan dil işleme sırasında otomatik ortografik katılımın kontrollerde disleksiye göre daha belirgin olduğunu göstermiştir (Wang vd., 2019). Ön singulat korteks ve insuladan oluşan belirginlik ağının anlatıyı anlamada önemli bir yeri olduğu belirtilmektedir (Uddin, 2013). Twait ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada belirginlik ağına odaklanılmıştır. Okunan hikâyeyi anlama görevinde disleksili çocuklarda belirginlik ağının işlevsel bağlantısında azalma bulunmuştur (Twait vd., 2018). Ailesel olarak disleksi riski taşıyan bebekler ile yapılan fMRG çalışmasının sonucunda, sol fusiform girusta atipik fonksiyonel bağlantı bulunmuştur. Okuma edinimi sırasında, kelime formunun tanınması için önemli olan bölgelerin atipik fonksiyonel bağlantısının erken başlangıç ile ilişkili olduğu şeklinde belirtilmektedir (Yu vd., 2022). Bununla birlikte disleksili çocuklarda yaşla birlikte ne gibi değişiklikler olduğunu araştıran boylamsal bir çalışmada, okuma yazma eğitimi almadan önce ve ilkökul ikinci sınıfa kadar gelişimleri takip edilen çocuklara psikometrik testler, fonksiyonel (dinlenim) ve yapısal MR incelemesi gerçekleştirilmiştir (Kuhl vd., 2020). Bu boylamsal çalışmanın sonucunda disleksili çocukların, fonolojik işleme becerilerinin azalması ve sol işitsel korteksin artan girifikasyonu açısından tipik olarak gelişen bireylerden farklı olduğu yönünde kanıtlar bulunmuştur (Kuhl vd., 2020). İşitsel korteks, planum temporale, premotor korteks ve arkuat fasikül dahil olmak üzere sol hemisferik bir ağda değiştirilmiş fonksiyonel ve yapısal bağlantının olduğu bulunmuştur (Kuhl vd., 2020). Yakın zamanda yapılan bir çalışmada görsel dikkatle ilgili beyin alanlarının bağlantılarının değerlendirildiği, normal okuyan (kontrol) ve disleksi grubu ile okuma görevi gerçekleştirilmiştir. Kontrol grubunun, dikkat ağlarından ventral ve dorsal ağdaki yürütücü işlev ile bağlantılı olan bölgelerde disleksi grubuna göre fonksiyonel bağlantılarının arttığı şeklinde bildirilmektedir (Taran vd., 2022).

Ayrıca dil ağının önemli bir bölgesi olduğu şeklinde belirtilen, sol angular girus bölgesi ile dorsal dikkat ağında normal okuyan çocuklarda artan işlevsel bağlantı bulunmuştur. Dislekside görsel dikkat süreçlerinin birleşiminde ve yürütücü işlevlerde eksiklik olduğu şeklinde varsayımda bulunmuşlardır (Taran vd., 2022). Disleksili çocukların kontrol grubuyla karşılaştırıldığı ve yazı yazma görevi gerçekleştirdikleri yakın zamanda yapılan bir çalışmada disleksi de serabellar bölgelerde periferik yazma süreçlerinde bir işlev bozukluğunun olduğu belirtilmektedir (Gosse vd., 2022). Disleksili çocukların yazma güçlüğü, merkezi yazma süreçleriyle yani heceleme ile sınırlı olmadığı ek olarak çevresel yazma süreçlerine yani el yazısına kadar dayandığı belirtilmektedir (Gosse vd., 2022). Gelişimsel disleksinin yazı dilleri arasında ki benzerlik ve farklılığını araştıran bir çalışmanın sonucunda, farklı yazı sistemleri altında sol alt frontal kortekste ve ön singulat kortekste hipoaktivasyon ile evrensel bir dikkatle ilgili işlev bozukluğuna sahip olduğu belirtilmektedir (Li ve Bi, 2022). Yakın zamanda yapılan disleksi ve kontrol grubunun dinlenim durumunda karşılaştırıldığı bir çalışmada elde edilen sonuçta, disleksi grubunda sol alt frontal girusta artmış fonksiyonel bağlantı olduğu belirtilmektedir (Li vd., 2022).

Disleksi ile yapılan çalışmalarda sıklıkla ortaya çıkan sol oksipito-temporal (OTC) bölgesinin önemini vurgulandığı derleme çalışmasında disleksinin patofizyolojisinde oksipitotemporal korteksin daha merkezi bir rolü olduğu şeklinde belirtilmektedir (Kronbichler & Kronbichler, 2018). Ortografik derinlikten bağımsız olarak tipik okuyan çocuk ve yetişkin okuyucularda en tutarlı bölgelerden biri şeklinde tanımlanmaktadır. Ek olarak bu durum alfabetik olmayan yazı sistemlerinin fMRI değerlendirmelerinde de gösterilir. Disleksili okuyucular ise OTC bölgesinde azalmış nöral tepki göstermektedir ve bir okuma materyaline yönelik spesifik olmayan aktivasyon göstermektedir. Oksipitotemporal bölgesinin, okuma, heceleme ve hızlı nesne adlandırma gibi okuma ile ilgili becerilerdeki merkezi önemi, disleksinin okuryazarlık bozuklukları için bir açıklama olabileceği şeklinde belirtilmektedir (Kronbichler ve Kronbichler, 2018). Oksipito-temporal bölgeye odaklanan başka bir çalışmada ise disleksili çocuklara sözde eş sesli kelimelerin sunulduğu fonolojik karar verme görevi gerçekleştirilmiştir. Görsel kelime form alanı (VWFA) (Cohen vd., 2000) ve sol oksipito-temporal bölgelerdeki fonksiyonel bağlanabilirlik incelenmiştir. Çalışmada elde edilen bulgular VWFA'nın, kontrol çocuklarında sol ön ve parietal dil alanları ile işlevsel olarak bağlantılı olduğu bulunmuştur. Disleksili çocuklarda ise VWFA ile sol alt frontal ve sol alt parietal dil alanları arasında fonksiyonel bağlantıda önemli bir bozulma bulunmuştur (van der Mark vd., 2011). Bu işlevsel kopukluğun disleksili çocuklarda erken okuma kazanımı sırasında ortaya çıktığı şeklinde belirtilmektedir (van der Mark vd., 2011).

Bununla birlikte disleksi ve disgrafinin beraber araştırıldığı çalışmalarda bulunmaktadır. Her iki öğrenme güçlüğü, birbirleri ile benzer bilişsel özellikler gösterip göstermediğini anlamak için okuma ve hecelemenin nasıl olduğu ve bu iki öğrenme sürecinin nerelerde birbirinden ayrıldığını görmek adına, okuma ve yazma görevlerinin tek bir oturumda gerçekleştirildiği fonksiyonel MR ile yapılan çalışmada yazı işleminin supramarjinal girus, fusiform girus, superior parietal lob, alt frontal girus, orta/üst frontal girus dahil olmak üzere ağırlıklı olarak sol yarımküre ağını etkinleştirdiği bulunmuştur (Purcell vd., 2011). Lateral alt temporal girusta yazımla ilgili aktivasyonun okumadan daha yüksek olduğu bulunmuştur. Fakat VWFA ile tipik olarak ilişkili orta bölümde yazma ile okumanın arasında fark bulunamamıştır. Buradan çıkarılan sonuçta heceleme ve okumada sözcüksel olarak ortak temsiller vardır. Fakat bu bölgenin yan kısmı için göreve bağlı temsiller olabilmektedir şeklinde belirtilir (Purcell vd., 2011). Bir başka çalışmada ise yine benzer sonuçlara varılmıştır. Okuma ve yazmanın ortak ortografik temsillerinin olduğu şeklinde belirtilen çalışmada, sol IFG (inferior frontal girus) ve görsel kelime form alanının (VWFA) katılımcılar aynı kelimeyi okurken veya hecelerken çağrılan ortografik nöronal temsilleri içerdiğini göstermiştir (Purcell vd., 2017).

İki öğrenme güçlüğü değerlendiren derleme çalışmasında, yazmanın okumadan daha karışık bir süreç olduğu belirtilmektedir. Bununla birlikte disleksi ve disgrafinin ayrı ayrı ortaya çıkabileceği gibi birlikte de var olabileceği bildirilmektedir (Döhla & Heim, 2016). Fonolojik farkındalığın her iki öğrenme güçlüğü içinde önemli olduğu ancak derinlemesine bakıldığında birbirlerinden ayrıldığı görülmektedir. Fonolojik farkındalığın okumadaki rolünün, sesbirimlerin sentezlendiği, yazmada ise sözcüklerin sesbirimlere ayrılmasının olduğu şeklinde belirtilmektedir (Döhla & Heim, 2016). Bununla birlikte disgrafinin bilişsel profillerinin araştırıldığı bir çalışmanın sonucunda disgrafili çocuklardan bir grup, işitsel ve fonolojik işleme (fonolojik farkındalık ve fonolojik çalışma belleği) eksikliği olan ve diğer grup ise görsel büyük hücreli işlevlerde ve fonolojik çalışma belleğinde bozulma şeklinde olan iki profile ayrılabilmesi şeklinde bildirilmektedir (Döhla vd., 2018). Ek olarak disgrafi ve disleksinin benzer olduğu ancak homolog olmadığı sonucuna varmışlardır (Döhla vd., 2018). Disleksili ve disgrafili çocukların okuma sırasında göz hareketleri başka bir çalışmada incelenmiştir. fMRI bulgularında üzerinde durulan sol oksipito-temporal bölgesi ile sol inferior frontal girus bölgeleri tohum olarak seçilip aralarında ki korelasyonlara ve göz hareketleri ile ilişkisine bakılmıştır. Çalışmanın sonucunda kontrol grubunda iki tohum bölgesinde anlamlı ilişkiler gözlenmiştir ve göz hareketleri ile de anlamlı korelasyonlar bulunmuştur. Disgrafi grubunda fMRI bağlantısında ve göz hareketlerinde önemli korelasyon gözlenmemiştir. Disleksi grubunda ise sadece fMRI bağlantısında anlamlı ilişki bulunmuştur (Yagle vd., 2017).

İki öğrenme güçlüğünün birlikte değerlendirildiği DTI çalışmasında beyaz cevher farklılığı araştırılmıştır. Disleksi grubunda bilateral ILF (inferior longitudinal fasikül) sağ SLF (superior longitudinal fasikül) ve cingulumda kontrol grubundan daha yüksek fraksiyonel anizotropi (FA) bulunmuştur (Banfi vd., 2019). Disgrafi grubu ise sol arkuat fasikülde kontrol grubundan daha düşük fraksiyonel anizotropi göstermiştir. Çalışmadan elde edilen bulgular sonucunda her iki hastalık grubunun yapısal olarak farklılık gösterdiği ve farklı sinirsel imzalarla ilişkili olduğu belirtilmektedir (Banfi vd., 2019). Yazma üzerine yapılan çalışmalardan birinde, disleksi ve disgrafili çocukların yazım sırasında yapısal ve fonksiyonel aktiviteleri incelenmiştir. DTI ve fMRI analizleri sonucunda disgrafili çocuklar, sol precuneus bölgesinde disleksili çocuklara göre artan aktivasyon göstermişlerdir. Disleksi grubu ise sol oksipital-temporal ve sol supramarjinal girus bölgelerinde disgrafi grubuna göre artan aktivasyon göstermiştir. DTI bulgularında ise kontrol grubu her iki hastalık grubuna göre daha fazla yapısal beyaz madde bütünlüğü göstermiştir. Kontrol grubu fonksiyonel bağlantı sonuçlarında diğer gruplara göre daha az bağlantı göstermiştir. Disleksi ve disgrafi gruplarında fonksiyonel bağlantının fazla olmasının nedeninin nöral bir yetersizlik olduğu şeklinde bildirilmektedir (Richards vd., 2015).

Ek olarak üç farklı ortografik görevin sunulduğu bir başka çalışmada disgrafili çocukların disleksili çocuklara göre farklı beyin aktivasyonları bulunmuştur. Disgrafi olan çocuklarda sağ supramarjinal girus (SMG) ve superior parietal lob (SPL) bölgelerinde hiperaktivasyon bulunmuştur (Gebauer vd., 2012). Sağ arka bölgenin disgrafi grubunda aktivasyonun artmasının başlangıçta olan okuma bozukluklarını bir şekilde çaba göstererek telafi etmeye çalıştıkları şeklinde bildirilmektedir (Gebauer vd., 2012). Yapılan DTI analizi sonucunda ise kontrol grubunda disleksi grubuna göre daha güçlü frontal beyaz cevher bütünlüğü bulunmuştur. Fakat disgrafi grubu ile herhangi bir yapısal farklılık bulunmamıştır (Gebauer vd., 2012). Yakın zamanda yapılan bir çalışmada ise, görsel kelime işleme disleksili ve disgrafili olan çocuklarda arka üst temporal kortekste azalan aktivasyon bulunmuştur (Dębska vd., 2021). Okuma ve heceleme bozukluklarının kelime işleme etkisinin iki yönlü olduğu belirtilmiştir. Sol ventral oksipito-temporal (vOT) bölgesinin okuma eksikliği ile ilgili olduğu belirtilmektedir. Bununla birlikte zayıf okuma ve zayıf heceleme ile ilgili olan bölge ise arka üst temporal kortekste alt sözlüksel yolun yeterince belirtilmemiş organizasyonu olduğu şeklinde bildirilmektedir (Dębska vd., 2021).

Disleksi ve disgrafi hastalıklarının her ikisinin kontrol grubuyla birlikte çalışıldığı fMRI çalışmasının literatürdeki azlığı sebebiyle elde edilen bulguların çoğu literatürde yeterince desteklenememiştir. Verilen çalışmaların ortak kısıtları belirli beyin bölgesine odaklanarak yapılan çalışmalar olması, fonolojik karar verme görevi üzerine daha yoğun çalışılmış olması hem disleksi hem de disgrafi hastalığını içeren sesli okuma görevi esnasında tüm beyin analizinden yola çıkarak tohum bölgelerinin bulunup incelendiği çalışmaların azlığı dikkat çekici olmuştur. Ayrıca literatürde seçilen tohum bölgelerinin çoğu beynin sol yarımküresinden seçilmiş bölgelerdir. Bu çalışmada beynin sağ ve sol bölgelerinden tohumların seçilmesi, çocukların sesli okuma yaparak fMRI çekimi gerçekleştirilmiş olan veri setinin olmasından dolayı diğer çalışmalardan farklıdır. Ek olarak son yıllarda bu iki hastalık grubunun birlikte değerlendirildiği çalışma sayısı oldukça azdır ve disleksi ve disgrafinin birlikte daha geniş bir fonksiyonel değerlendirmeye ihtiyacının olduğu açıktır.

Bu çalışmanın amacı ise okuma ve yazma bozukluğu olan disleksi grubu, yazma bozukluğu olan disgrafi grubu ve normal okuyan kontrol grubu ile iki farklı sesli okuma görevi sırasındaki, beyinde oluşan fonksiyonel aktiviteleri karşılaştırmaktır. Okuma ve yazmanın birbiri ile tamamen aynı bilişsel süreçler olmadığı göz önüne alındığında disleksili ve disgrafili çocukların her iki görev ile okuma yaparlarken beyinlerinde oluşan fonksiyonel aktivasyonlardaki benzerlik ve farklılıkların görevler arası karşılaştırması yapılmıştır. Veriler OpenfMRI'dan elde edilmiştir (Banfi vd., 2021). Ayrıca görevler sırasında ilgili tohum bölgeleri ile psikofizyolojik etkileşim analizi (Friston vd., 1997) yapılarak gruplarda ve gruplar arasında fonksiyonel bağlantı farklılıkları analiz edilmiştir. Okumada işlevsel olarak önemli bölgeler meta analizlerde belirtilmiştir (Martin vd., 2016; Paulesu vd., 2014; Richlan vd., 2011) Bu bölgelerden bilateral fusiform girus, bilateral inferior frontal girus, bilateral precentral girus ve merkezi bir bölge olduğu için precuneus (Sporns, 2013) tohum /ROI olarak seçilmiştir. Psikofizyolojik etkileşim analizine, disleksi çalışmalarında oldukça az karşılaşılmıştır. Bununla birlikte disleksi ve disgrafinin birlikte değerlendirildiği çalışmalarda ise bu sayı daha düşüktür. Bundan dolayı bu çalışmada yapılan psikofizyolojik etkileşim analizinin sonuçları literatüre oldukça önemli katkılar sağlayacaktır.

3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Bu çalışmada kullanılan veriler halka erişimi açık olan OpenfMRI'dan elde edildi (Banfi vd., 2021). Veri seti 58 katılımcıdan oluşmaktadır. Yaşları 9 ve 11 aralığındadır. Disleksi grubu 20 çocuk (8 kız -12 erkek), yazım kusurlu grubu (disgrafi) 16 çocuk (6 kız-10 erkek), kontrol grubu 22 çocuk (10 kız-12 erkek) oluşmaktadır. Okuryazarlık ve bilişsel ölçümler 3 grupta cinsiyete göre farklılık göstermemiştir. Katılımcıların ilk dilleri Almancadır. Sözel olmayan IQ testinde tüm katılımcılar 85 ve üzeri puan almışlardır. İşitme ve görme bozuklukları yoktur ve klinik DEHB (dikkat eksikliği ve hiperaktivite bozukluğu) tanısı yoktur (Banfi vd., 2021).

3.1. Deneysel Uyarılar ve Prosedür (Experimental Stimuli and Procedure)

Uyarılar, 60 kelime ve en az 3 en fazla 8 harften oluşan 60 tane pseudohomofondan (sözde eş sesli kelime) oluşmaktadır. Görev tasarımı olayla ilgilidir ve her uyarı 3 saniye süreyle siyah arka plan üzerinde beyaz olarak sunulmuştur. Uyarının ardından, bir işaret olan sabitleme çaprazı, 4 s boyunca görüntülenmiştir. Kelimeler ve sözde eş sesli kelimeler, rastgele bir şekilde gösterilmiştir. Ekranda beliren uyarıları, çocukların yüksek sesle okumaları yönünde talimat verilmiştir. Uyarıların listesi aşağıda verilmiştir. Görevler, çocukların yorulmalarını engellemek için üç ardışık oturumda gerçekleştirilmiştir. Her bir oturumların arasında 3-5 dakikalık kısa aralar vardır. Her oturumda 20 kelime ve 20 sözde eş sesli kelime uyarı olarak sunulmuştur. Bu çalışmada ise sadece ilk oturum seçilmiştir ve tek bir oturumun analizleri yapılmıştır.

Tablo 1. Deneysel uyarılar (experimental stimuli)

Kelime	arm	Tür	Zoo	Arzt	Bild	Brot	Film	froh	Füße
Sözde eş sesli	arhm	Tühr	Zoh	Artzt	Billd	Broht	Vilm	fro	füße
Kelime	Glas	Gras	Hals	Hand	Hose	Jahr	Kind	Lutf	Mund
Sözde eş sesli	Glaas	Graas	Halls	Hant	Hofse	Jaar	Kint	Lufft	Munt
Kelime	Obst	Rund							
Sözde eş sesli	Opst	Runt							

3.2. FMRI Veri Toplama (FMRI Data Collection)

Görüntüleme, 3.0 T Skyra tarayıcıda 20 kanallı bir kafa bobini kullanılarak (Siemens Healthineers, Erlangen, Almanya) yapılmıştır. Anatomik görüntüler, 3D-T1 MPRAGE yüksek çözünürlüklü taramaları ((Repeat time= TR = 1600 ms), (Echo Time= TE = 1,81 ms), FOV = 224 mm, çevirme açısı = 8 derece, 176 dilim, vokselleme çözünürlüğü 1 × 1 × 1 mm³) ve BOLD duyarlı T2* ağırlıklı fonksiyonel görüntüler, tek atış gradyan-yankı EPI darbe dizisi kullanılarak elde edilmiştir (TR = 2340 ms, TE = 33 ms; FOV = 192 mm, çevirme açısı = 90 derece, 0.3 mm boşluklu 34 dilim, vokselleme çözünürlüğü 3 × 3 × 3 mm³, azalan edinme sırası). Baş hareketini engellemek için, başı çevreleyen sıkı bir dolgu kullanılmıştır. Katılımcılar görevleri yaparken, sözlü olarak yanıtları MR uyumlu bir mikrofon (FOMRI-III, OptoacousticsLtd., Moshav Mazor, İsrail) ile kaydedilmiştir. Uyarıların sunumu, Yazılım Sunumu (Neurobehavioral Systems, Albany, CA) kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Banfi vd., 2021).

3.3. İstatistiksel Analiz (Statistical Analysis)

fMRI verileri, FMRIB'nin FSL 6.0 FEAT kullanılarak analiz edildi (Smith vd., 2004). Veri ön işleme adımları şu şekildedir: FSL'nin MCFLIRT aracını kullanarak, her bir fonksiyonel çalıştırma ve fonksiyonel hacmi merkez hacme hizalayarak hareket düzeltmesi (Jenkinson vd., 2002), fMRI verilerindeki her zaman serisini TR periyodunun ortasına göre bir TR'nin uygun bir fraksiyonu ile kaydırmak için (Hanning-pencereli) sinc enterpolasyonu kullanılarak, dilim zamanlama düzeltmesi, FSL'nin BET aracını kullanarak, beyin dışı yapıların çıkarılması (Smith, 2002), fMRI verilerinin her bir hacminde ayrı ayrı gerçekleştirilen ve geçerli aktivasyonu azaltmadan gürültüyü azaltmak için FWHM 5.0 mm'lik bir Gauss çekirdeği kullanılarak uzamsal yumuşatma, 4B veri setinin tamamının tek bir çarpımsal faktörle yapılan genel ortalama yoğunluk normalizasyonu ve frekansı düşük olan artefaktların verilerden ayıklanması için yüksek-geçiren filtreleme (100 s) kullanılmıştır. Fonksiyonel veriler yüksek çözünürlüklü olan anatomik görüntülere kayıt edilmiştir ve FSL'de bulunan, FLIRT, doğrusal kayıt aracında 12 DOF ile yapılmıştır (Jenkinson vd., 2002; Jenkinson & Smith, 2001). Yapısal görüntülerin 2-mm MNI standart uzay şablonuna kaydı, doğrusal olmayan kayıt aracı FNIRT kullanılarak yapıldı (Andersson, 2007; Andersson, 2007).

Her bir katılımcının zaman serileri, FSL'de Genel Doğrusal Modelleme (GLM) kullanılarak analiz edildi (Woolrich vd., 2001). Her deneğin kelime ve sözde eş sesli kelime uyarıları için başlangıç süreleri, açıklayıcı değişkenler (EV'ler) olarak eklendi ve bir gama hemodinamik yanıt işlevi kullanılarak kıvrıldı. Kontrastlar (kelime > sabitleme çaprazı, sözde eş sesli kelime > sabitleme çaprazı, sözde eş sesli kelime > kelime) şeklinde oluşturuldu. Birinci seviye analizde oluşturulan karşıtlıkların grup düzeyinde analizi FSL'nin FLAME 1 karma efektler yaklaşımı kullanılarak yapıldı. (FMRIB's Local Analysis of Mixed Effects FLAME) (Beckmann vd., 2003; Woolrich vd., 2004). Z-istatistik görüntüleri, küme oluşturma eşiği Z=2.3 ve küme olasılığı eşiği p<0.05 olan Gauss Rastgele Alanlar teorisine dayalı çoklu karşılaştırmalar için küme tabanlı düzeltmelerle eşiklendi (Worsley, 2001).

gPPI (genelleştirilmiş psikofizyolojik etkileşim) analizinin literatürde yaygın olarak yapılan ROI analizinden farkı görevler sırasında ilgili tohum bölgesinin diğer beyin bölgeleri ile olan bağlantısallığı incelenmektedir. ROI analizinde ise sadece seçilen ROI bölgesinin gruplarda oluşturduğu ortalama aktivasyon incelenir (Sağır ve İçer,

2022). Bununla birlikte gPPI analizi için bilateral fusiform girus, bilateral inferior frontal girus (IFG) orbitalis kısmı, precuneus ve bilateral precentral girus için anatomik ROI'ler, FSL'de bulunan Harvard-Oxford Cortical olasılık atlasından elde edildi. Katılımcıların her birinde, oluşturulan EV'ler şöyledir: Gama HRF ile kıvrımlı, her bir görev koşulunun başlangıcını ve süresini modelleyen psikolojik regresörler; ROI'lerin her bir katılımcının ön işlemleri fonksiyonel görüntülerinden çıkarılan zaman serileri ile oluşan fizyolojik regresörlerdir. Bu oluşturulan regresörler arasında her görev koşulu için bir genelleştirilmiş psikofizyolojik etkileşim (gPPI) analizi FEAT kullanılarak gerçekleştirildi (McLaren vd., 2012). PPI için bireysel parametre tahminleri daha sonra FSL'in karma etkili yaklaşımı olan FLAME 1'i kullanarak ($Z=2.3, p<0.05$) grup karşılaştırması yapıldı.

4. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

4.1. Tüm Beyin Analizi (Whole Brain Analysis)

Kişilerin görevleri yaparken beyinlerinde oluşan tüm fonksiyonel değişikliklerin gruplar arası değerlendirilmesi tüm beyin analizi veya keşif analizi olarak ifade edilmektedir. Tüm beyin analizinin sonucunda normal kelimeleri okumaları sırasında disleksi ve kontrol grubunda aktivasyon gösteren bölgeler bilateral inferior oksipital girus, sağ oksipital fusiform girus, sol precentral girus, bilateral lingual girus bölgeleridir. Disgrafi grubunun ortalamasında ise anlamlı sonuç bulunamamıştır. Ek olarak disleksi ve disgrafi gruplarının karşılaştırılmasında sağ precuneus, sağ orta temporal girus, bilateral talamus bölgelerinde aktivasyon gözlenmiştir. (Ayrıntılar tablo 2 ve şekil 1'de gösterilmektedir.)

Sözde eş sesli kelime okuma görevi sırasında disgrafi grubunda sol insula, bilateral precentral ve postcentral bölgelerinde aktivasyon gözlenmiştir. Disleksi grubunda ilk görevden farklı olarak çıkan yerler bilateral talamus, sol insula, bilateral singulat girus, sol orta frontal girus, sol üst temporal girus ve sağ precentral girus bölgeleridir. Disleksi ve disgrafi grup karşılaştırılmasında çıkan yerler sağ orta temporal girus, sağ precuneus, sağ precentral girus, bilateral lingual girus, singulat girus, orta frontal girus, sağ talamus, sol parahipokampal girus, sağ üst parietal lob, sol fusiform girus bölgeleridir. (Ayrıntılar tablo 3 ve şekil 2'de gösterilmektedir.)

İki görevin karşılaştırılmasında disleksi de ve kontrol grubundan farklı olarak sol paracentral lob, bilateral singulat girus, bilateral talamus, sol orta temporal girus, sol üst temporal girus, sol supramarjinal girus, sol üst parietal lob, sol alt parietal lob bölgelerinde artan aktivasyon görülmüştür. (Ayrıntılar tablo 4 ve şekil 3'te gösterilmektedir.) Şekil 1,2,3'te gösterim standardizasyonu için aynı beyin aksiyel kesit bölgesi kullanılmıştır.

Tablo 2. Normal kelime okuma görevi analiz sonuçları (Normal word reading task analysis results)

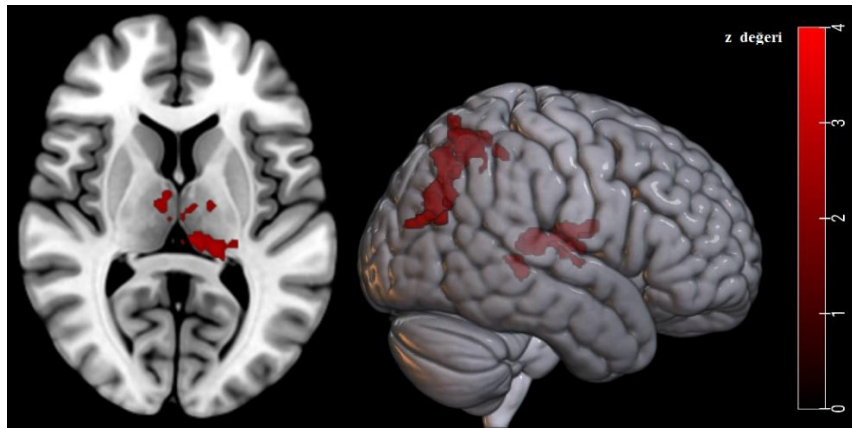
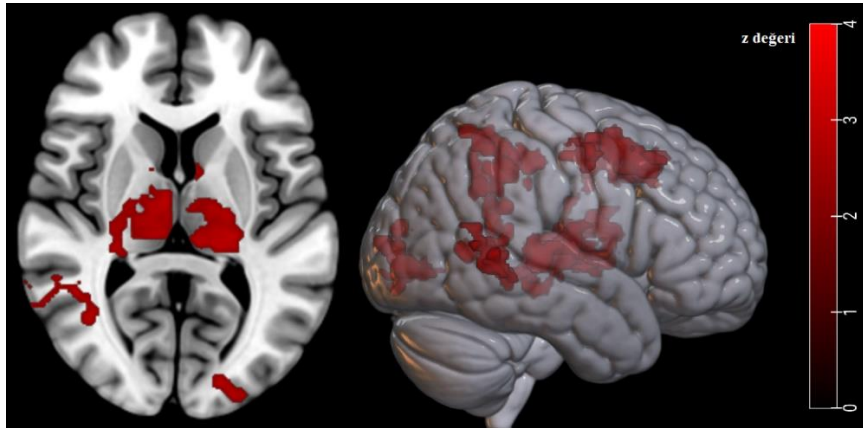
Grup	Aktivasyon Gösteren Bölge	Sol/Sağ (L/R)	MNI Koordinatı x y z	Z değeri	Küme Boyutu
Disleksi>Disgrafi					
	Precuneus	R	16 -70 50	3.55	652
	Middle Temporal Girus	R	44 -76 22	3.17	
	Talamus	L	-14 -30 10	3.12	465
	Talamus	R	6 -8 8	2.73	

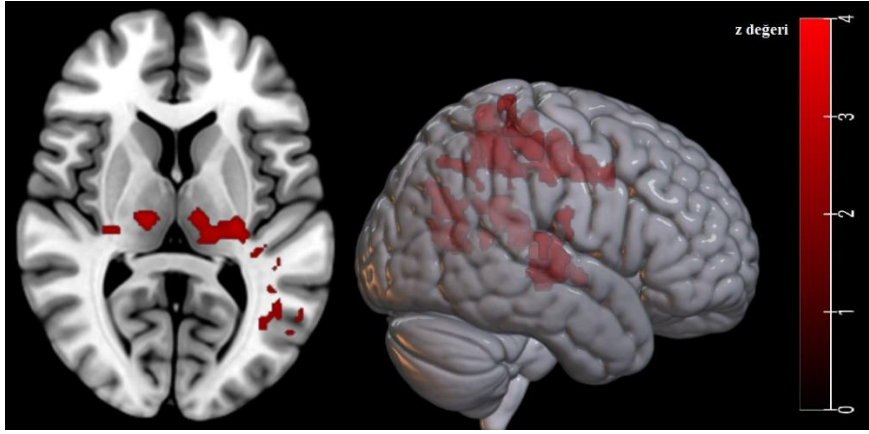
Tablo 3. Sözde eş sesli kelime okuma görevi analiz sonuçları (Pseudo-homophones word reading task analysis results)

Grup	Aktivasyon Gösteren Bölge	Sol/Sağ (L/R)	MNI Koordinatı x y z	Z değeri	Küme Boyutu
Disleksi>Disgrafi					
	Parahipokampal Girus	L	-16 -34 -2	3.26	2604
	Talamus	R	6 -22 2	3.23	
	Singulat Girus	L	-4 20 40	3.13	
	Precuneus	R	6 -38 50	3.32	910
	Singulat Girus	R	14 -44 42	3.25	
	Posterior Singulat	L	-6 -48 20	3.11	
	Superior Parietal Lob	R	18 -60 60	3.06	
	Middle Frontal Girus	R	22 10 50	3.31	637
	Precentral Girus	R	34 -4 56	3.15	
	Lingual Girus	L	-18 -88 0	3.4	452
	Middle Oksipital Girus	L	-24 -98 10	3.05	
	Oksipital Fusiform Girus	L	-22 -90 -10	2.96	
	Middle Temporal Girus	R	54 -48 2	4.02	439

Tablo 4. Görevlerin karşılaştırılması (sözde eş sesli kelime>normal kelime) analizi sonuçları (Comparison of tasks pseudo-homophone>normal word)

Grup	Aktivasyon Gösteren Bölge	Sol/Sağ (L/R)	MNI Koordinatı x y z	Z değeri	Küme Boyutu
Disleksi>Kontrol					
	Paracentral Lob	L	-6 -14 48	3.43	1196
	Singulat Girus	R	8 -44 46	3.38	
	Singulat Girus	L	-6 -14 44	3.3	
	Precuneus	R	6 -44 54	3.11	
	Talamus	L	-10 -18 -2	3.36	1000
	Talamus	R	12 -16 4	3.28	
	Superior Parietal Lob	L	-14 -50 66	3.43	948
	Precuneus	L	-6 -46 58	3.02	
	Insula	L	-50 -34 20	3.44	854
	İnferior Parietal Lob	L	-52 -44 26	3.23	
	Middle Temporal Girus	L	-52 -62 12	3.22	
	Superior Temporal Girus	L	-48 -44 22	3.16	
	Supramarjinal Girus	L	-56 -50 26	3.12	

**Şekil 1.** Normal kelime okuma sırasında disleksi>disgrafi grupları arasında fark (Difference between dyslexia>dysgraphia groups during normal word reading)**Şekil 2.** Sözde eş sesli kelime okuma sırasında disleksi>disgrafi grupları arasında fark (Difference between dyslexia>dysgraphia groups during pseudo-homophones reading)



Şekil 3. Görevlerin karşılaştırılmasında disleksi>kontrol grupları arasındaki fark (Difference between dyslexia>dysgraphia groups in comparison tasks)

4.2. gPPI Analizi Sonucu (gPPI Analysis Result)

Tüm beyin analizi sonuçları ve literatür bilgileri ışığında bilateral inferior frontal girus, fusiform girus, precentral girus ve precuneus bölgeleri tohum olarak seçilmiştir. (Grup farklılıklarının ayrıntıları tablo 5'te verilmiştir.)

Şekil 4 de görüldüğü üzere, sol inferior frontal girus tohumunda fonksiyonel bağlantısallık analizi sonucunda sözde eş sesli kelime okuma sırasında disleksi grubunda disgrafi grubuna göre sağ precuneus, bilateral paracentral lob bölgelerinde artan aktivasyon gözlenmiştir. Sağ inferior frontal girus tohumunda iki görevin karşılaştırılması sonucunda disleksi grubunda sağ precentral girus ve orta frontal girus bölgelerinde disgrafi grubunda ise sağ precentral girus, postcentral girus ve orta frontal girus bölgelerinde kontrol grubundan farklı olarak artan aktivasyon gözlenmiştir.

Sol fusiform tohumunda Şekil 5 de görüldüğü gibi, sözde eş sesli kelime okuma görevi sırasında kontrol grubunda sağ üst parietal lob, sol oksipital lob cuneus ve sol precuneus bölgelerinde disleksi grubundan farklı olarak artan fonksiyonel bağlantı gözlenmiştir. Görevlerin karşılaştırılmasının sonucunda ise sağ frontal lob sub-gyral bölgesinde artan aktivasyon gözlenmiştir.

Sağ fusiform ile normal kelime okuma görevi sırasında oluşan fonksiyonel bağlantı analizinde kontrol grubunda sağ alt ve üst parietal lob bölgelerinde disleksi grubundan farklı olarak artan aktivasyon gözlenmiştir. Sözde eş sesli kelime görevinde ise sol precuneus, sol singulat girus, sol medial frontal girus ve bilateral superior frontal girusta artan aktivasyon gözlenmiştir. Görev karşılaştırmasında ise sağ frontal lob sub-gyral, singulat girus, precentral girus, sol sub-lobar extra-nuclear ve sol precuneus bölgesinde artan aktivasyon gözlenmiştir.

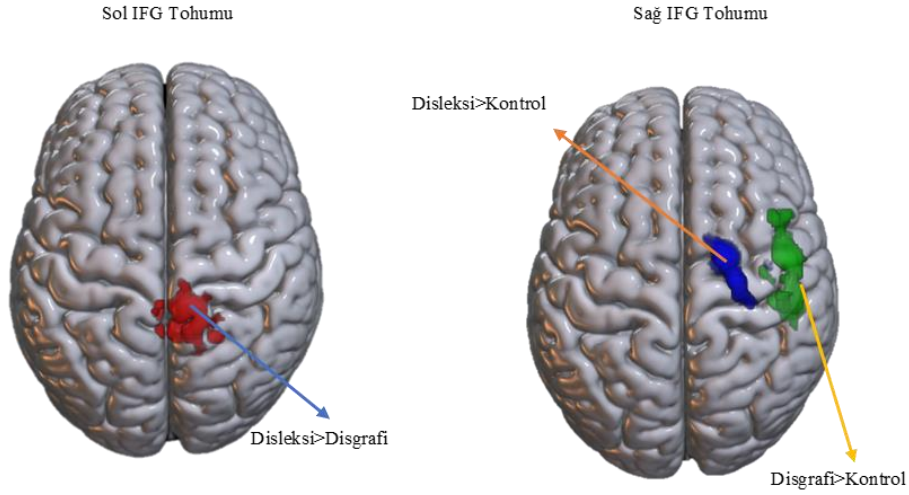
Şekil 6'da görüldüğü üzere, sol precentral tohumunda normal kelime okuma görevinde kontrol grubunda sağ postcentral girus bölgesinde disleksi grubundan farklı olarak artan aktivasyon gözlenmiştir. Görevlerin karşılaştırılmasında ise disgrafi grubunda bilateral precuneus, angular girus, parietal lob sub-gyral, inferior parietal lob, sağ oksipital lob cuneus, sağ üst temporal girus bölgelerinde disleksi grubundan farklı olarak artan aktivasyon gözlenmiştir. Sağ precentral tohumunda normal kelime okuma görevinde sol orta frontal girus bölgesinde disgrafi grubunda disleksi grubuna göre artan aktivasyon gözlenmiştir. Kontrol grubunda sağ orta frontal girus, sağ frontal lob sub-gyral ve sağ paracentral bölgesinde disleksi grubundan farklı olarak artan aktivasyon gözlenmiştir. İki görevin karşılaştırılmasında ise disleksi grubunda bilateral postcentral ve sağ paracentral bölgesinde kontrol grubundan farklı olarak artan aktivasyon gözlenmiştir.

Tablo 5. Psikofizyolojik etkileşim (gPPI) analizi sonucu (Psychophysiological interaction (gPPI) analysis result)

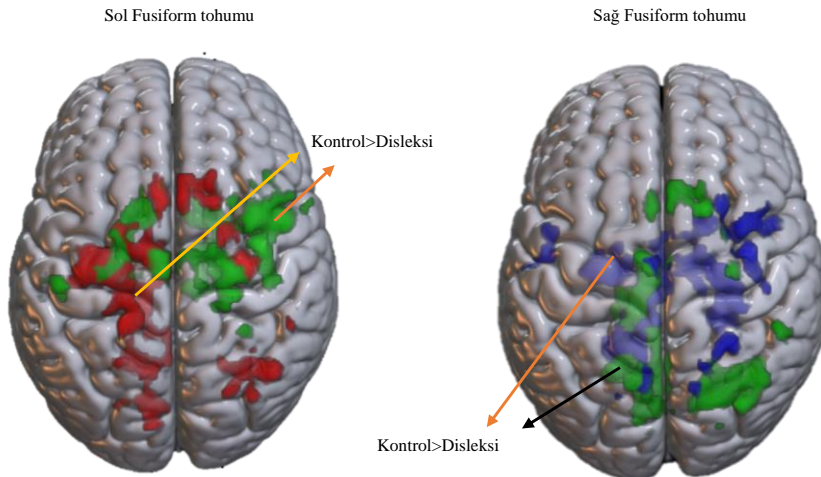
Bölge adı/Görev adı/Gruplar Aktivasyon Gösteren Bölge	Sol/Sağ (L/R)	MNI Koordinatı x y z	Z değeri	Küme Boyutu	Pozitif/Negatif Etkileşim (↑/↓)
SOL INFERIOR FRONTAL GİRUS TOHUMU					
Sözde Eş Sesli Kelime Disleksi>Disgrafi					
Precuneus	R	2 -48 58 22 -52 62	3.29 2.81	695	↑
Parietal Lob Sub-Gyral	R	14 -42 68	3.26		↑
Paracentral Lob	R	10 -36 64	3.22		↑

Paracentral Lob	L	-2 -38 68	2.65		↑
SAĞ INFERIOR FRONTAL GİRUS TOHUMU Sözde eş sesli kelime>normal kelime Disleksi>Kontrol					
Precentral Girus	R	28 -22 64	3.21	746	↑
Middle Frontal Girus	R	14 -8 66	2.86		↑
Disgrafi>Kontrol					
Precentral Girus	R	48 -4 44	4.12	969	↑
Middle Frontal Girus	R	46 12 46	2.97		↑
Tablo 5. (Devamı)					
SOL FUSİFORM TOHUMU Sözde Eş Sesli Kelime Kontrol>Disleksi					
Superior Parietal Lob	R	42 -64 54	3.48	1351	↑
Oksipital Lob Cuneus	L	-8 -88 44	3.57	598	↑
Precuneus	L	-16 -58 46	3.26		↑
Sözde eş sesli kelime>normal kelime Kontrol>Disleksi					
Frontal Lob Sub-Gyral	R	20 -14 50	3.5	9853	↑
SAĞ FUSİFORM TOHUMU Normal Kelime Kontrol>Disleksi					
İnferior Parietal Lob	R	42 -58 46	3.19	529	↑
Superior Parietal Lob	R	32 -64 54	2.64		↑
Sözde Eş Sesli Kelime Kontrol>Disleksi					
Precuneus	L	0 -58 40	3.71	1879	↑
Singulat Girus	L	-10 -36 28	3.06		↑
Superior Frontal Girus	L	-4 10 70	3.23	1367	↑
Superior Frontal Girus	R	4 18 64	3.22		↑
Middle Frontal Girus	L	-8 -22 58	3.21		↑
Sözde eş sesli kelime>normal kelime Kontrol>Disleksi					
Frontal lob Sub-Gyral	R	24 -36 36	3.75	2230	↑
Singulat Girus	L	0 -20 30	3.68		↑
	R	14 -18 26	3.26		
Sub Lobar Extra Nuclear	L	-10 -36 26 -16 -14 20	3.59 3.3		↑
Precuneus	L	-12 -52 34	3.37		↑
Precentral Girus	R	38 -12 64	3.17	2091	↑
Precentral Girus	L	-48 0 44 -50 -10 44	2.95 2.92	572	↑
SOL PRECENTRAL TOHUMU Normal Kelime Kontrol>Disleksi					
Postcenral Girus	R	26 -30 72	3.34	518	↑
Sözde eş sesli kelime>normal kelime Disgrafi>Disleksi					
Precuneus	R	16 -60 40	3.49	1228	↑
Oksipital Lob Cuneus	R	26 -72 36	3.24		↑
Tablo 5. (Devamı)					
Parietal Lob Sub-Gyral	R	34 -72 34	3.18		↑
Angular Girus	R	50 -62 36	3.15		↑
Superior Temporal Girus	R	56 -56 26	3.06		↑
İnferior Parietal Lob	R	54 -28 26	3.06		↑
Parietal Lob Sub-Gyral	L	-36 -40 40	3.25	1046	↑
Precuneus	L	-22 -64 40	3.23		↑
Angular Girus	L	-38 -66 36	3.14		↑
İnferior Parietal Lob	L	-40 -40 46	3.14		↑
SAĞ PRECENTRAL TOHUMU Normal Kelime Disgrafi>Disleksi					

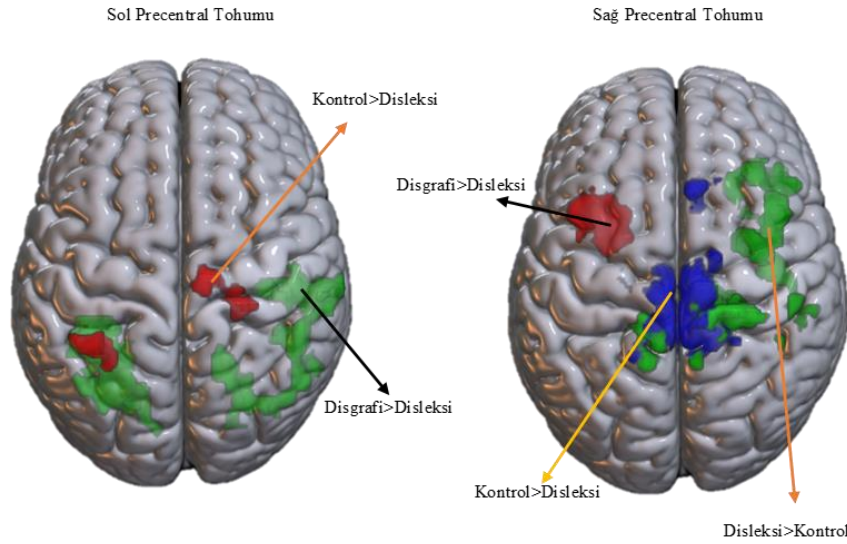
Middle Frontal Girus	L	-26 4 50	3.36	594	↑
Kontrol>Disleksi					
Frontal Lob Sub-Gyral	R	20 -28 52	3.68	3313	↑
Paracentral Lob	R	18 -36 60	3.28		↑
Middle Frontal Girus	R	32 0 46	3.56	1124	↑
Sözde eş sesli kelime>normal kelime Disleksi>Kontrol					
Postcentral Girus	R	14 -40 70	3.61	3353	↑
Paracentral Lob	R	6 -40 68	3.59		↑
Postcentral Girus	L	-4 -36 72	3.5		↑



Şekil 4. Sol/sağ IFG tohumu gPPI analizi sonucu gruplar arasında fark çıkan bölgeler (Regions showing difference between groups as a result of left/right IFG seed gPPI analysis)



Şekil 5. Sol/sağ fusiform girus tohumu gPPI analizi sonucu gruplar arasında fark çıkan bölgeler (Regions showing difference between groups as a result of left/right fusiform gyrus seed gPPI analysis)



Şekil 6. Sol/sağ precentral tohumu gPPI analizi sonucu gruplar arasında fark çıkan bölgeler (Regions showing difference between groups as a result of left/right precentral seed gPPI analysis)

5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Bu çalışmada disleksi, disgrafi ve kontrol gruplarının normal kelime ve sözde eş sesli kelimelerin sesli bir şekilde okunması sırasında fonksiyonel aktiviteleri fMRI ile incelenmiştir.

5.1. Tüm Beyin Analizi Sonucu (Whole Brain Analysis Result)

Görev tabanlı yapılan fMRI çalışmalarında, görevler gerçekleştirilirken, herhangi bir tohum veya ROI seçilmeden, katılımcıların beyinlerinde oluşan aktivasyonun ölçümüne tüm beyin analizi veya keşif analizi denir. Elde ettiğimiz veri setinde katılımcılar, fMRI çekimi sırasında okuma ile ilgili iki görev gerçekleştirmişlerdir. Bunlardan biri olan, normal kelime okuma görevi sırasında, disleksi ve kontrol grupları arasında aktivasyon gösteren bölgelerde benzerlikler gözlenmiştir. Her iki grupta da bilateral inferior oksipital girus, bilateral lingual girus, sol precentral, sağ oksipital fusiform girus bölgelerinde aktivasyon bulunmuştur. Aktivasyon gösteren yerler ventral oksipital temporal (vOT) bölgesinin olduğu yerleri kapsamaktadır. Bu bölgenin nöral düzeyde, verimli okuma ve heceleme, otomatik ortografik ortak aktivasyonlarda yer aldığı bildirilmektedir (Debska vd., 2019). Bununla birlikte, Görsel Kelime Form Alanının (VWFA) klasik lokalizasyonu olan orta vOT bölgesindeki aktivasyonun, imla ve tam kelime temsillerine erişme olarak belirtilir (Ludersdorfer vd., 2016). Ventral oksipital temporal bölgesinin aktivasyonu ile ilgili literatürdeki çok sayıda çalışma, disleksi grubu için bu bölgenin hipoaktivasyon sergilediğini bildirmektedir ((Borghesani vd., 2021; Olulade vd., 2015; Wimmer vd., 2010). Ek olarak okuma bozukluğunun şiddetine göre hipoaktivasyonun arttığı belirtilmektedir (Brem vd., 2020). Fakat bazı çalışmalarda, bizim çalışmamızla tutarlı bir şekilde vOT bölgesinde disleksi grubunda hipoaktivasyon gözlenmemiştir (Finn vd., 2014). Disleksi grubunda kelime okuma sırasında kontrol grubuna göre anlamlı bir farklılık gözlenmemesinin sebebi olarak, bu öğrenme gücünün heterojenliğinin sonucu olabileceği yani veri setindeki disleksili çocukların fonolojik farkındalıklarında bir eksiklik olmadığı, okuma bozukluğu şiddetinin az olduğu (Zoubinetzky vd., 2014) ve Almanca dilinin şeffaf bir dil olmasından dolayı disleksili çocukların okumayı doğru yapmaları ancak okuma hızının yavaş olmasının sonucu olabileceği varsayılmaktadır (Finn vd., 2014). Ek olarak disgrafi grubunda ise normal kelime okuma görevi sırasında herhangi bir bölgede anlamlı bir aktivasyon gözlenmemiştir. Disgrafili çocuklarda sözlük-ortografik işleme için ventral akımda bozulmuş fonksiyonel aktivite hipotezini desteklemektedir (Debska vd., 2021). Normal kelime okuma görevinde son olarak elde ettiğimiz bir diğer bulgu disleksi grubunda disgrafi grubuna göre sağ precuneus, sağ orta temporal girus ve bilateral talamus bölgelerinde aktivasyon gözlemlenmiştir. İyi okuyucular, normal kelimeleri doğru ve akıcı okurken, sağ precuneus bölgesinin düşük aktivasyon gösterdiği bildirilmektedir (Richards vd., 2009). Disleksi grubunda disgrafi grubuna göre sağ precuneus bölgesinin artan aktivasyonu, bu hastalık grubunun okumayı akıcı yapamadıklarının göstergesi olabilir.

Bununla birlikte katılımcıların gerçekleştirdiği bir diğer görev olan, sözde eş sesli kelime okuma sırasında, disleksi grubunda ilk görevden farklı olarak talamus, singulat girus, sol orta frontal girus, sol üst temporal girus bölgelerinde aktivasyon gözlenmiştir. Bu görev sırasında, normal kelime okumaya göre daha fazla aktivasyon göstermesi çeşitli nöral sistemlerle ilişkili stratejiler geliştirebileceklerini ve telafi edici beyin mekanizmaları olduğu varsayılmaktadır (Richlan vd., 2010). Kontrol grubunda ise her iki görevde de aktivasyon gösteren bölgeler aynıdır. Disgrafi grubunda, bilateral precentral girus, bilateral postcentral girus ve sol insula bölgesinde

aktivasyon gözlenmiştir. Precentral ve postcentral bölgelerinde hiperaktivasyon diğer çalışmalarda da bildirilmektedir ve bu bölgelerin her iki hastalık grubu için okumaya gösterdikleri bir çaba ve telafi süreci olduğu belirtilmektedir (Brem vd., 2020; Cao vd., 2018). Ek olarak bu bölgelerde kontrol grubunda da aktivasyon gözlenmiştir. Sığ ve derin yazımlar ile ilgili yapılan meta analiz sonucunda bu hiperaktivasyonun özellikle Almanca gibi sığ yazımlarda belirgin olduğu gösterilmiştir (Martin vd., 2016). Başka bir çalışmada, normal okuyucularda görülen aktivasyonun, kolay ve otomatik olarak okunan kısa sözcüklerin görevde kullanılması sonucu belirginleşmiş olabileceği varsayılmaktadır (Brem vd., 2020). Ek olarak sol dorsal precentral girus bölgesinin sözde eş sesli görev sırasında daha fazla aktivasyon göstermesinin sonucu olarak, sublexical (alt sözlük yolu) fonolojik kod çözme yolunun bir parçası olduğu belirtilmektedir (Taylor vd., 2013). Sol insula bölgesi, sözde eş sesli kelime okuma sırasında grupların her birinde aktivasyon göstermiştir. Bununla birlikte kontrol grubunda normal kelime okuma sırasında da sol insula bölgesinde aktivasyon gözlenmiştir ve bu bölgenin ön kısmının dil işleme görevleri ile fonolojik işlemede yer almasının bir sonucu olabileceği bildirilmektedir (Bamiou vd., 2003).

Son olarak disleksi grubunda disgrafi grubundan farklı olarak bilateral singulat girus, sol parahipokampal girus, sağ talamus, sağ precuneus, sağ üst parietal lob, sağ orta temporal girus, sol lingual girus ve sol oksipital fusiform girus bölgelerinde aktivasyon gözlemlenmiştir. Bu sonuçlardan da görüldüğü gibi disleksi grubu disgrafi grubuna göre sağ yarım küreyi ve beynin çekirdek bölgelerini, sözde eş sesli okuma görevi yaparken daha çok kullanmış olup disleksili grubun eksikliklerini telafi etmek için daha fazla çaba gösterdikleri anlaşılmaktadır (Brem vd., 2020). Genel olarak sözde eş sesli kelime okuma görevinde gruplarda aktivasyon gösteren bölgeler daha fazladır. Bu durumun açıklaması olarak yanlış yazılmış kelimeler veya sözde eş sesli kelimelerde fonolojik kodların hesaplanmasının, normal kelimeleri okurken kullanılan ağdan daha büyük bir sinir ağı gerektirdiği şeklinde belirtilmektedir (Xu vd., 2001).

Bunlara ek olarak, bu çalışmada iki görevin karşılaştırılmasının analizi de gerçekleştirilmiştir. Kontrast olarak, sözde eş sesli kelime okurken, normal kelime okumaya kıyasla hangi bölgelerde aktivasyon farklılığı olduğunun gözlemlenmesi hedeflenmiştir. Görev karşılaştırmasında elde ettiğimiz bulgulardan biri, sağ precuneus, sol inferior frontal girus, orta frontal girus bölgelerinde grupların her birinde aktivasyon gözlenmiştir. Sol inferior frontal girusun gerçek kelimelere kıyasla sözde eş sesli kelimelerde aktivasyonun arttığı diğer çalışmalarda, elde ettiğimiz bulgu ile tutarlı bir şekilde belirtilmiştir (Olulade vd., 2013, 2015). Ek olarak disgrafi grubunda sol supramarjinal girus bölgesinde aktivasyon gözlenmiştir. Bu alanın sözel kısa süreli bellekle ilişkili olduğu ve fonolojik bir prova mekanizması denilen süreçle yakından bağlantılı olduğu bildirilmektedir (Crottaz-Herbette vd., 2004). Çalışmamızdaki sonuca göre bu bölgenin aktivasyon göstermesi, disgrafi grubunda bir fonolojik prova mekanizmasının kullanıldığını göstermektedir. Bununla birlikte görevlerin karşılaştırıldığı analiz sonucunda disleksi grubunda kontrol grubundan farklı olarak bilateral singulat girus, bilateral talamus, sol paracentral lob, sol orta temporal girus ve sol supramarjinal girus bölgelerinde aktivasyon gözlemlenmiştir.

İki görevin karşılaştırılması sonucunda gruplarda dorsal ağı kapsayan bölgelerde aktivasyon gözlenmiştir. Okuma ağlarından biri olan dorsal okuma ağı, fonolojik analizde, ses ve anlam arasındaki haritalamada aktif olduğu düşünülmektedir (Pugh vd., 2000). Bu ağda, angular girus, supramarjinal girus ve superior temporal girusun arka kısımları bulunur (Pugh vd., 2000). Yaptığımız analiz sonucunda disgrafi grubunda (sözde eş sesli kelime>normal kelime) angular girus, supramarjinal girus bölgelerinde diğer gruplardan farklı olarak aktivasyon gözlenmiştir. Bunun sonucunda disgrafi grubunun sözde eş sesli kelime okurken, fonolojik analiz, ses ve anlam haritalama süreçleri için disleksi ve kontrol grubuna göre daha fazla çaba gösterdiği anlaşılmaktadır.

Tüm beyin analizi sonucunda son olarak, sağ yarım kürenin disleksi ve disgrafi grupları için aktivasyon farklılıklarının araştırılması amaçlanmıştır. Sağ yarımküre, normal okuyan, başlangıç okuyucuları tarafından okuma sırasında yaygın olarak kullanılmaktadır (Waldie & Mosley, 2000). Zamanla okuryazarlık geliştikçe de bu bölgenin kullanımı azalmaktadır (B. A. Shaywitz vd., 2007). Disleksi ve disgrafi için sağ yarımkürenin fazla aktivasyon göstermesinin telafi edici olarak kullanıldığı literatürde yapılan önceki çalışmalarda bildirilmektedir (Finn vd., 2014; Gebauer vd., 2012). Yaptığımız çalışmanın sonucunda her iki hastalık grubunda sağ yarımkürenin fazla aktivasyon gösterdiği gözlenmemiştir. Elde ettiğimiz bu bulgu disleksi için yapılan bir meta analizle uyumludur (Richlan vd., 2009).

Analizler sonucunda elde ettiğimiz bulgularda, aktivasyon gösteren beyin bölgeleri ventral okuma ağını kapsayan bölgeleri içermektedir. Bu ağ okumanın gelişimi ile ortaya çıkan ağdır (Pugh vd., 2000) Bizim çalışmamızda veri setinde bulunan çocuklar 3. Sınıfın sonu ve 4. Sınıfın başında oldukları için okuma yaparlarken daha çok ventral okuma ağının aktivasyon göstermesi diğer çalışmalar ile tutarlıdır. Bununla birlikte dorsal okuma ağının ise sublexical sözcüklerde aktivasyon göstermesi yaptığımız analizler sonucunda gözlenmiştir.

5.2. Psikofizyolojik Etkileşim Analizi (gPPI) Fonksiyonel Bağlantı Sonuçları (Psychophysiological Interaction Analysis (PPI) Functional Connectivity Results)

Bu çalışmada bilateral inferior frontal girus, bilateral fusiform girus, precuneus ve bilateral precentral girus tohum bölgeleri olarak seçilmiştir.

Sol inferior frontal girus (IFG) bölgesi tohum alınarak yapılan bağlantısallık analizinde Cao ve ark. sol orta oksipital girus (LMOG) ile azalan bağlantı bulmuşlardır (Cao vd., 2018). Bir başka çalışmada Schurtz ve ark disleksili grubun sol posterior temporal alanlar ile IFG arasında ve ek olarak sol oksipito-temporal alanlar ile sol IFG arasında azalmış bağlantı bulmuşlardır (Schurz vd., 2015). Bizim çalışmamızda hem sol IFG hemde sağ IFG tohumunda LMOG ile grupların hiçbirinde herhangi bir bağlantı gözlenmemiştir. Çalışmamızda ise gruplar arası fark sözde eş sesli kelime okurken disleksi grubunda disgrafiye göre sağ precuneus bölgesinin içinde olduğu kümede aktivasyon artışı bulunmuştur. Sonuçlardaki farklılığın nedeni olarak katılımcıların yaşları ve görevlerin farklılığından kaynaklandığı varsayılabilir. Richard ve ark. yaptıkları çalışmada, sol inferior frontal girus tohumunun bağlantısallık analizinde, disgrafi grubu diğer beyin bölgeleri ile daha fazla bağlantı kurmuştur (Berninger vd., 2015). Disleksi grubu biraz daha az ve kontrol grubu ise en az bağlantı göstermiştir. Aynı şekilde sol oksipital temporal tohumu sol precuneus ve sol supramarjinal girus tohumunun bağlantısallık analizinde de benzer sonuçlar almışlardır (Berninger vd., 2015). Bizim çalışmamızda ise sol inferior frontal girus tohumu için görevler arası karşılaştırmada disgrafi grubunun fazla aktivasyon göstermesi sonucu belirtilen literatür ile uyumlu olmuştur.

Disleksi grubunda sol IFG ve sağ IFG tohumlarının bağlantısallık analizi sonucunda her iki görevde de sağ superior frontal girus bölgesi ile azalan bağlantı gözlemlenmiştir. Sözde eş sesli kelime okuma sırasında disleksi grubunda disgrafi grubuna göre bilateral paracentral lob, sağ precuneus ve sağ parietal lob sub-gyral bölgelerinde artan aktivasyon gözlemlenmiştir. Bir başka çalışmada kontrol grubu ventral dikkat ağı ve fronto-parietal ağ arasında artan işlevsel bağlantı göstermiştir ve disleksi grubu bu bağlantıyı göstermemiştir (Taran vd., 2022). Bizim çalışmamızda ise superior frontal girus ve parietal lobda disleksi ve disgrafi gruplarında azalan bağlantı gözlenmiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda iki hastalık grubu da yürütücü, görsel dikkat ve okuma ile ilgili ağlarda senkronize aktiviteyi başaramadıklarını ortaya koyan bir fonksiyonel bağlantı modeli olduğunu göstermektedir (Taran vd., 2022). Kontrol grubunda, sol IFG tohumu ile görevler sırasında herhangi bir bölgede bağlantı gözlemlenmemiştir. Sağ IFG tohumunda, görevlerin karşılaştırılmasında disleksi grubunda kontrol grubundan farklı olarak, sağ precentral girus, sağ orta frontal girus bölgelerinde artan bağlantı gözlenmiştir. Disgrafi grubunda ise kontrol grubundan farklı olarak sağ orta frontal girus, sağ precentral girus ve sağ postcentral girus bölgelerinde artan bağlantı gözlenmiştir. Her iki hastalık grubunun da kontrol grubundan farklı olarak görevlerin karşılaştırılmasının bağlantısallık analizinde, artan bağlantı gösteren bölgeler benzerdir. Orta frontal girusun, çeşitli yürütücü işlevlerde yer alan üst düzey bilişsel kontrol ağının bir parçası olduğu belirtilmektedir (Niendam vd., 2012) Sağ precentral ve postcentral girusun artan bağlantısı, bu hastalık gruplarında okuma sırasında dil artikülasyonuna (sesiletim) artan güven sebebiyle nöral bir telafinin olabileceği belirtilmektedir (Richlan vd., 2009). Elde ettiğimiz bulgular sonucunda her iki hastalık grubu, IFG bölgesi tohum olarak seçildiğinde sağ yarımkürede fonksiyonel bağlantı sırasında, diğer bölgelerle hem azalan hem de artan bir şekilde etkileşim göstermiştir. Bu durum daha önce sunduğumuz gibi ilk tüm beyin keşif analizinde sağ yarımkürenin aşırı aktivasyon göstermemesine karşılık yapılan tohuma dayalı bağlantısallık analizinde sağ yarımküreyi fazla kullanmaları dikkat çeken bir bulgu olup, bu durum hastalık gruplarının, okuma bozukluklarını telafi etmek için çaba gösterdiklerinin göstergesi olarak değerlendirilebilir (Finn vd., 2014).

Sol fusiform girus tohumu ile yapılan bağlantısallık analizi sonucunda disleksi grubu herhangi bir bölge ile bağlantı kurmamıştır. Disgrafi grubu sol fusiform tohumunda iki görev sırasında da sol sublobar Extra-Nuclear bölgesi ile artan bağlantı göstermiştir. Kontrol grubunda disleksi grubundan farklı olarak sol fusiform tohumu ile sözde eş sesli kelime okuma görevi sırasında sağ superior parietal lob, sağ oksipital lob cuneus ve sol precuneus ile artan bağlantı gözlemlenmiştir. Bir başka çalışmada sol precuneus bölgesinin disleksi grubunda bizim çalışmamız ile tutarlı bir şekilde azalan aktivasyonu bildirmektedir ve bu sonuç disleksi grubunun, görsel ve ortografik açığının olduğunu gösteren bir bulgu olarak değerlendirilmiştir (Cao vd., 2018). Sağ fusiform tohumu ile yapılan bağlantısallık analizinde disgrafi grubunun herhangi bir bölge ile bağlantısı gözlemlenmemiştir. Sağ fusiform tohumu ile normal kelime okuma sırasında kontrol grubunda disleksi grubundan farklı olarak sağ inferior parietal lob, sağ superior parietal lob ve sağ precuneus bölgelerinde artan bağlantı gözlemlenmiştir. Kontrol grubu her iki tohumda da superior parietal bölgeler ile daha fazla bağlantı göstermiştir ve bunun sonucunda, dikkat ve çalışma belleğini kontrol grubunun daha çok kullandığı sonucunu destekleyen çalışmalar ile benzer görüşe varılabilir (Dębska vd., 2021). Genel olarak, disgrafi ve kontrol gruplarında sol ve sağ fusiform girus tohumlarında sol yarım küre ile artan bağlantı gözlemlenmiştir. Disleksi grubunda ise elde ettiğimiz bulgular sonucunda, literatürde disleksi için sıklıkla belirtilen sol vOT bölgesinin disfonksiyonu (Borghesani vd., 2021; Olulade vd., 2015; Wimmer vd., 2010) literatürle tutarlı olarak çalışmamızın bağlantısallık analizi sonucunda da gözlenmiştir.

Precuneus tohumu ile yapılan bağlantısallık analizinde gruplar arası aktivasyon farklılığı gözlemlenmemiş olup sadece normal kelime okuma görevinde kontrol grubunda sol orta frontal girusta artan ve sözde eş sesli okuma görevinde disgrafi grubunda sol üst parietal lobda azalan aktivasyon elde edilmiştir. Cao ve ark yaptıkları çalışmada bizim sonucumuzla uyumlu olarak sol precuneus tohumunda grup etkileşimi bulamamışlardır (Cao vd., 2018). Ek olarak disleksi grubunda sağ precentral tohumu ile ön singulat bölgesi arasında bağlantı bulmuşlardır. Bizim çalışmamızda ise disleksi grubunda sağ precentral tohumu ile arka singulat bölgesinde etkileşim gözlenmiştir.

Precentral bölgesini çalışmamızda tohum olarak seçmemizin nedeni tüm beyin analizinde grupların hepsinde aktivasyon göstermesinden dolayıdır. Sol precentral tohumu ile normal kelime okuma sırasında kontrol grubu disleksi grubundan farklı olarak sağ postcentral girus bölgesi ile artan bağlantı gözlemlenmiştir. İki görevin karşılaştırılmasında ise disgrafi grubu disleksi grubundan farklı olarak bilateral precuneus, bilateral angular girus, bilateral inferior parietal lob, sağ üst temporal girus ve sağ oksipital lob cuneus bölgeleri ile artan bağlantı gözlemlenmiştir. Inferior parietal lobun, okuma süreçleriyle etkileşim halinde olabilecek genel dikkat mekanizmalarına bağlı olduğu bildirilmektedir (S. E. Shaywitz & Shaywitz, 2008). Angular girus anlamsal işlemede yer alan okumayla ilgili önemli bir bölge olduğundan, (Buchweitz vd., 2014) disgrafi grubunun okuma sırasında disleksi grubuna göre artan bağlantı göstermesi, okuduğunu anlama işlevini yerine getirebilmesi çalışmamızın destekleyen bulgusu olarak gösterilebilir. Sağ precentral tohumu ile yapılan bağlantısallık analizi sonucunda normal kelime okuma sırasında disgrafi grubunda disleksi grubundan farklı olarak sol orta frontal girus bölgesi ile artan bağlantı gözlemlenmiştir. Kontrol grubunda ise disleksi grubundan farklı olarak sağ paracentral girus ve sağ orta frontal girus bölgesinde artan bağlantı gözlemlenmiştir. Orta frontal girus bölgesinin üst düzey bilişsel kontrol ağının bir parçası olduğu daha önce belirtilmiş olup (Niendam vd., 2012) kontrol ve disgrafi gruplarında disleksiye göre artan bağlantı göstermesi bunun sonucu olabilir. Precentral tohumu bağlantısallık analizi sonucunda disgrafi grubunda oluşan bağlantı sayısı disleksiye göre fazladır. Kontrol grubu ise en az bağlantı gösteren grup olmuştur.

Çalışmamızın literatürle tartışılarak sunduğumuz sonuçlarına göre tüm beyin analizinde her iki hastalık grubu hem kendi aralarında hemde kontrol grubuyla farklı aktivasyon bölgeleri gösterirken yapılan bağlantısallık analizi sonucunda disleksi grubu diğer iki gruba göre farklı aktivasyon bölgeleri göstermiş, disgrafi ise kontrol ile benzeyen aktivasyon bölgeleri göstermiştir.

Bu çalışmanın amacı okuma ve yazma bozukluğu olan disleksi grubu, yazma bozukluğu olan disgrafi grubu ve normal okuyan kontrol grubu ile iki farklı sesli okuma görevi sırasındaki, beyinde oluşan fonksiyonel aktiviteleri karşılaştırmaktır. Okuma ve yazmanın birbiri ile tamamen aynı bilişsel süreçler olmadığı göz önüne alındığında disleksili ve disgrafili çocukların her iki görev ile okuma yaparlarken beyinlerinde oluşan fonksiyonel aktivasyonlardaki benzerlik ve farklılıkların görevler arası karşılaştırması yapılmıştır. Ayrıca görevler sırasında ilgili tohum bölgeleri ile psikofizyolojik etkileşim analizi yapılarak gruplarda ve gruplar arasında fonksiyonel bağlantı farklılıkları analiz edilmiştir. Elde ettiğimiz bulgularda disleksi ve disgrafi grupları tüm beyin analizinde farklı beyin bölgelerinde aktivasyon göstermiştir. Fonksiyonel bağlantı analizinde ise her iki hastalık grubunda bağlantı gösteren bölgelerde benzerlikler ve farklılıklar elde edilmiştir. Disleksi ve disgrafi grubunun her ikisinin birlikte yer aldığı çalışma sayısının az olmasından dolayı çalışmamız ve elde ettiğimiz sonuçlar literatür için değerli bilgiler içermektedir. Psikofizyolojik etkileşim analizinde her bir tohum bölgesi bilateral alınarak hem sağ hem de sol bölgelerde görülen aktivasyon farkları birlikte değerlendirilmesi açısından da sonuçların değeri yüksektir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

Kaynaklar (References)

- Bamiou, D.-E., Musiek, F. E., & Luxon, L. M., 2003. The insula (Island of Reil) and its role in auditory processing: Literature review. *Brain Research Reviews*, 42(2), 143-154.
- Banfi, C., Koschutnig, K., Moll, K., Schulte-Körne, G., Fink, A., & Landerl, K., 2019. White matter alterations and tract lateralization in children with dyslexia and isolated spelling deficits. *Human Brain Mapping*, 40(3), 765-776.
- Banfi, C., Koschutnig, K., Moll, K., Schulte-Körne, G., Fink, A., & Landerl, K., 2021. Reading-related functional activity in children with isolated spelling deficits and dyslexia. *Language, Cognition and Neuroscience*, 36(5), 543-561.
- Beckmann, C. F., Jenkinson, M., & Smith, S. M., 2003. General multilevel linear modeling for group analysis in FMRI. *NeuroImage*, 20(2), 1052-1063.
- Berninger, V. W., Richards, T. L., & Abbott, R. D., 2015. Differential diagnosis of dysgraphia, dyslexia, and OWL LD: Behavioral and neuroimaging evidence. *Reading and Writing*, 28(8), 1119-1153.
- Borghesani, V., Wang, C., Watson, C., Bouhali, F., Caverzasi, E., Battistella, G., Bogley, R., Yabut, N. A., Deleon, J., Miller, Z. A., Hoeft,

- F., Mandelli, M. L., & Gorno-Tempini, M. L., 2021. Functional and morphological correlates of developmental dyslexia: A multimodal investigation of the ventral occipitotemporal cortex. *Journal of Neuroimaging*, 31(5), 962-972.
- Brem, S., Maurer, U., Kronbichler, M., Schurz, M., Richlan, F., Blau, V., Reithler, J., van der Mark, S., Schulz, E., Bucher, K., Moll, K., Landerl, K., Martin, E., Goebel, R., Schulte-Körne, G., Blomert, L., Wimmer, H., & Brandeis, D., 2020. Visual word form processing deficits driven by severity of reading impairments in children with developmental dyslexia. *Scientific Reports*, 10(1), Art. 1.
- Buchweitz, A., Mason, R. A., Meschyan, G., Keller, T. A., & Just, M. A., 2014. Modulation of cortical activity during comprehension of familiar and unfamiliar text topics in speed reading and speed listening. *Brain and Language*, 139, 49-57.
- Cao, F., Yan, X., Spray, G. J., Liu, Y., & Deng, Y., 2018. Brain Mechanisms Underlying Visuo-Orthographic Deficits in Children With Developmental Dyslexia. *Frontiers in Human Neuroscience*, 12.
- Cao, F., Yan, X., Wang, Z., Liu, Y., Wang, J., Spray, G. J., & Deng, Y., 2017. Neural signatures of phonological deficits in Chinese developmental dyslexia. *NeuroImage*, 146, 301-311.
- Chung, P. J., Patel, D. R., & Nizami, I., 2020. Disorder of written expression and dysgraphia: Definition, diagnosis, and management. *Translational Pediatrics*, 9(Suppl 1), S46-S54.
- Cohen, L., Dehaene, S., Naccache, L., Lehericy, S., Henaff, M.-A., & Michel, F. (t.y.). The visual word form area. 17.
- Crottaz-Herbette, S., Anagnoson, R. T., & Menon, V., 2004. Modality effects in verbal working memory: Differential prefrontal and parietal responses to auditory and visual stimuli. *NeuroImage*, 21(1), 340-351.
- Dębska, A., Banfi, C., Chyl, K., Dzięgiel-Fivet, G., Kacprzak, A., Łuniewska, M., Plewko, J., Grabowska, A., Landerl, K., & Jednoróg, K., 2021. Neural patterns of word processing differ in children with dyslexia and isolated spelling deficit. *Brain Structure and Function*, 226(5), 1467-1478.
- Dębska, A., Chyl, K., Dzięgiel, G., Kacprzak, A., Łuniewska, M., Plewko, J., Marchewka, A., Grabowska, A., & Jednoróg, K., 2019. Reading and spelling skills are differentially related to phonological processing: Behavioral and fMRI study. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 39, 100683.
- Döhla, D., & Heim, S., 2016. Developmental Dyslexia and Dysgraphia: What can We Learn from the One About the Other? *Frontiers in Psychology*, 6.
- Döhla, D., Willmes, K., & Heim, S., 2018. Cognitive Profiles of Developmental Dysgraphia. *Frontiers in Psychology*, 9.
- Eden, G. F., VanMeter, J. W., Rumsey, J. M., & Zeffiro, T. A., 1996. The Visual Deficit Theory of Developmental Dyslexia. *NeuroImage*, 4(3), S108-S117.
- Finn, E. S., Shen, X., Holahan, J. M., Scheinost, D., Lacadie, C., Papademetris, X., Shaywitz, S. E., Shaywitz, B. A., & Constable, R. T., 2014. Disruption of Functional Networks in Dyslexia: A Whole-Brain, Data-Driven Analysis of Connectivity. *Biological Psychiatry*, 76(5), 397-404.
- Friston, K. J., Buechel, C., Fink, G. R., Morris, J., Rolls, E., & Dolan, R. J., 1997. Psychophysiological and Modulatory Interactions in Neuroimaging. *NeuroImage*, 6(3), 218-229.
- Gebauer, D., Enzinger, C., Kronbichler, M., Schurz, M., Reishofer, G., Koschutnig, K., Kargl, R., Purgstaller, C., Fazekas, F., & Fink, A., 2012. Distinct patterns of brain function in children with isolated spelling impairment: New insights. *Neuropsychologia*, 50(7), 1353-1361.
- Gosse, C., Dricot, L., & Van Reybroeck, M., 2022. Evidence of graphomotor dysfunction in children with dyslexia: A combined behavioural and fMRI experiment. *Cortex*, 148, 68-88.
- Heim, S., Wehnelt, A., Grande, M., Huber, W., & Amunts, K., 2013. Effects of lexicality and word frequency on brain activation in dyslexic readers. *Brain and Language*, 125(2), 194-202.
- Jenkinson, M., Bannister, P., Brady, M., & Smith, S., 2002. Improved Optimization for the Robust and Accurate Linear Registration and Motion Correction of Brain Images. *NeuroImage*, 17(2), 825-841.
- Jenkinson, M., & Smith, S., 2001. A global optimisation method for robust affine registration of brain images. *Medical Image Analysis*, 5(2), 143-156.
- Kovelman, I., Norton, E. S., Christodoulou, J. A., Gaab, N., Lieberman, D. A., Triantafyllou, C., Wolf, M., Whitfield-Gabrieli, S., & Gabrieli, J. D. E., 2012. Brain Basis of Phonological Awareness for Spoken Language in Children and Its Disruption in Dyslexia. *Cerebral Cortex*, 22(4), 754-764. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhr094>
- Kronbichler, L., & Kronbichler, M., 2018. The Importance of the Left Occipitotemporal Cortex in Developmental Dyslexia. *Current Developmental Disorders Reports*, 5(1), 1-8.
- Kuhl, U., Neef, N. E., Kraft, I., Schaadt, G., Dörr, L., Brauer, J., Czepezauer, I., Müller, B., Wilcke, A., Kirsten, H., Emmrich, F., Boltze, J., Friederici, A. D., & Skeide, M. A., 2020. The emergence of dyslexia in the developing brain. *NeuroImage*, 211, 116633.
- Lachmann, T., Berti, S., Kujala, T., & Schröger, E., 2005. Diagnostic subgroups of developmental dyslexia have different deficits in neural processing of tones and phonemes. *International Journal of Psychophysiology*, 56(2), 105-120.
- Li, Y., & Bi, H.-Y., 2022. Comparative research on neural dysfunction in children with dyslexia under different writing systems: A meta-analysis study. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 137.
- Li, Y., Li, J., Yang, Y., & Bi, H.-Y., 2022. Disruption of dynamic functional connectivity in children with developmental dyslexia. *Language, Cognition and Neuroscience*, 38(5), 621-635.
- Ludersdorfer, P., Wimmer, H., Richlan, F., Schurz, M., Hutzler, F., & Kronbichler, M., 2016. Left ventral occipitotemporal activation during orthographic and semantic processing of auditory words. *NeuroImage*, 124, 834-842.
- Lyon, G. R., Shaywitz, S. E., & Shaywitz, B. A. (2003). A definition of dyslexia. *Annals of Dyslexia*, 53(1), 1-14.
- Martin, A., Kronbichler, M., & Richlan, F. (2016). Dyslexic brain activation abnormalities in deep and shallow orthographies: A meta-analysis of 28 functional neuroimaging studies. *Human Brain Mapping*, 37(7), 2676-2699.
- McLaren, D. G., Ries, M. L., Xu, G., & Johnson, S. C., 2012. A generalized form of context-dependent psychophysiological interactions (gPPI): A comparison to standard approaches. *NeuroImage*, 61(4), 1277-1286.
- Moll, K., & Landerl, K., 2009. Double Dissociation Between Reading and Spelling Deficits. *Scientific Studies of Reading*, 13(5), 359-382.
- Nicolson, R. I., Fawcett, A. J., & Dean, P., 2001. Developmental dyslexia: The cerebellar deficit hypothesis. *Trends in Neurosciences*, 24(9), 508-511.

- Niendam, T. A., Laird, A. R., Ray, K. L., Dean, Y. M., Glahn, D. C., & Carter, C. S., 2012. Meta-analytic evidence for a superordinate cognitive control network subserving diverse executive functions. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 12(2), 241-268.
- Olulade, O. A., Flowers, D. L., Napoliello, E. M., & Eden, G. F., 2013. Developmental differences for word processing in the ventral stream. *Brain and Language*, 125(2), 134-145.
- Olulade, O. A., Flowers, D. L., Napoliello, E. M., & Eden, G. F., 2015. Dyslexic children lack word selectivity gradients in occipito-temporal and inferior frontal cortex. *NeuroImage: Clinical*, 7, 742-754.
- Paulesu, E., Danelli, L., & Berlinger, M., 2014. Reading the dyslexic brain: Multiple dysfunctional routes revealed by a new meta-analysis of PET and fMRI activation studies. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8.
- PII: S0166-2236(00)01896-8 | Elsevier Enhanced Reader. (t.y.). [https://doi.org/10.1016/S0166-2236\(00\)01896-8](https://doi.org/10.1016/S0166-2236(00)01896-8)
- Pugh, K. R., Mencl, W. E., Jenner, A. R., Katz, L., Frost, S. J., Lee, J. R., Shaywitz, S. E., & Shaywitz, B. A., 2000. Functional neuroimaging studies of reading and reading disability (developmental dyslexia). *Mental Retardation and Developmental Disabilities Research Reviews*, 6(3), 207-213.
- Purcell, J. J., Jiang, X., & Eden, G. F., 2017. Shared orthographic neuronal representations for spelling and reading. *NeuroImage*, 147, 554-567.
- Purcell, J. J., Napoliello, E. M., & Eden, G. F., 2011. A combined fMRI study of typed spelling and reading. *NeuroImage*, 55(2), 750-762.
- Ramus, F., 2003. Theories of developmental dyslexia: Insights from a multiple case study of dyslexic adults. *Brain*, 126(4), 841-865.
- Ramus, F., 2004. Neurobiology of dyslexia: A reinterpretation of the data. *Trends in Neurosciences*, 27(12), 720-726.
- Richards, T. L., Berninger, V. W., & Fayol, M., 2009. fMRI activation differences between 11-year-old good and poor spellers' access in working memory to temporary and long-term orthographic representations. *Journal of Neurolinguistics*, 22(4), 327-353.
- Richards, T. L., Grabowski, T. J., Boord, P., Yagle, K., Askren, M., Mestre, Z., Robinson, P., Welker, O., Gulliford, D., Nagy, W., & Berninger, V., 2015. Contrasting brain patterns of writing-related DTI parameters, fMRI connectivity, and DTI-fMRI connectivity correlations in children with and without dysgraphia or dyslexia. *NeuroImage: Clinical*, 8, 408-421.
- Richlan, F., 2020. The Functional Neuroanatomy of Developmental Dyslexia Across Languages and Writing Systems. *Frontiers in Psychology*, 11.
- Richlan, F., Kronbichler, M., & Wimmer, H., 2009. Functional abnormalities in the dyslexic brain: A quantitative meta-analysis of neuroimaging studies. *Human Brain Mapping*, 30(10), 3299-3308.
- Richlan, F., Kronbichler, M., & Wimmer, H., 2011. Meta-analyzing brain dysfunctions in dyslexic children and adults. *NeuroImage*, 56(3), 1735-1742.
- Richlan, F., Sturm, D., Schurz, M., Kronbichler, M., Ladurner, G., & Wimmer, H., 2010. A Common Left Occipito-Temporal Dysfunction in Developmental Dyslexia and Acquired Letter-By-Letter Reading? *PLOS ONE*, 5(8), e12073.
- Saliency Network-Based Classification and Prediction of Symptom Severity in Children With Autism | Autism Spectrum Disorders | JAMA Psychiatry | JAMA Network. (t.y.).
- Sağır, G. R., & İcer, S. 2022, October. Investigation of Brain Activities During Reading of Children with Dyslexia and Dysgraphia by using Region of Interest Analysis. In 2022 Medical Technologies Congress (TIPTEKNO) (pp. 1-4). IEEE.
- Schurz, M., Wimmer, H., Richlan, F., Ludersdorfer, P., Klackl, J., & Kronbichler, M., 2015. Resting-State and Task-Based Functional Brain Connectivity in Developmental Dyslexia. *Cerebral Cortex*, 25(10), 3502-3514.
- Share, D. L., 1995. Phonological recoding and self-teaching: Sine qua non of reading acquisition. *Cognition*, 55(2), 151-218.
- Shaywitz, B. A., Skudlarski, P., Holahan, J. M., Marchione, K. E., Constable, R. T., Fulbright, R. K., Zelterman, D., Lacadie, C., & Shaywitz, S. E., 2007. Age-related changes in reading systems of dyslexic children. *Annals of Neurology*, 61(4), 363-370.
- Shaywitz, S. E., & Shaywitz, B. A., 2005. Dyslexia (Specific Reading Disability). *Biological Psychiatry*, 57(11), 1301-1309.
- Shaywitz, S. E., & Shaywitz, B. A., 2008. Paying attention to reading: The neurobiology of reading and dyslexia. *Development and Psychopathology*, 20(4), 1329-1349
- Smith, S. M., 2002. Fast robust automated brain extraction. *Human Brain Mapping*, 17(3), 143-155.
- Smith, S. M., Jenkinson, M., Woolrich, M. W., Beckmann, C. F., Behrens, T. E. J., Johansen-Berg, H., Bannister, P. R., De Luca, M., Drobnjak, I., Flitney, D. E., Niazy, R. K., Saunders, J., Vickers, J., Zhang, Y., De Stefano, N., Brady, J. M., & Matthews, P. M., 2004. Advances in functional and structural MR image analysis and implementation as FSL. *NeuroImage*, 23, S208-S219.
- Sporns, O., 2013. The human connectome: Origins and challenges. *NeuroImage*, 80, 53-61.
- Stein, J., & Walsh, V., 1997. To see but not to read; the magnocellular theory of dyslexia. *Trends in Neurosciences*, 20(4), 147-152.
- Tallal, P., 1980. Auditory temporal perception, phonics, and reading disabilities in children. *Brain and Language*, 9(2), 182-198.
- Taran, N., Farah, R., DiFrancesco, M., Altaye, M., Vannest, J., Holland, S., Rosch, K., Schlaggar, B. L., & Horowitz-Kraus, T., 2022. The role of visual attention in dyslexia: Behavioral and neurobiological evidence. *Human Brain Mapping*, 43(5), 1720-1737.
- Taylor, J. S. H., Rastle, K., & Davis, M. H., 2013. Can cognitive models explain brain activation during word and pseudoword reading? A meta-analysis of 36 neuroimaging studies. *Psychological Bulletin*, 139, 766-791.
- Twait, E., Farah, R., & Horowitz-Kraus, T., 2018. Decreased functional connectivity of the salience network during narrative comprehension in children with reading difficulties: An fMRI study. *NeuroImage: Clinical*, 20, 987-992.
- U, F., 1980. Unexpected spelling problems. *Cognitive Processes in Spelling*, 495-515.
- Van der Mark, S., Klaver, P., Bucher, K., Maurer, U., Schulz, E., Brem, S., Martin, E., & Brandeis, D., 2011. The left occipitotemporal system in reading: Disruption of focal fMRI connectivity to left inferior frontal and inferior parietal language areas in children with dyslexia. *NeuroImage*, 54(3), 2426-2436.
- Vellutino, F. R., Fletcher, J. M., Snowling, M. J., & Scanlon, D. M., 2004. Specific reading disability (dyslexia): What have we learned in the past four decades? *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 45(1), 2-40.
- Waldie, K. E., & Mosley, J. L., 2000. Hemispheric Specialization for Reading. *Brain and Language*, 75(1), 108-122.
- Wang, Z., Yan, X., Liu, Y., Spray, G. J., Deng, Y., & Cao, F., 2019. Structural and functional abnormality of the putamen in children

- with developmental dyslexia. *Neuropsychologia*, 130, 26-37.
- Wimmer, H., Schurz, M., Sturm, D., Richlan, F., Klackl, J., Kronbichler, M., & Ladurner, G., 2010. A dual-route perspective on poor reading in a regular orthography: An fMRI study. *Cortex*, 46(10), 1284-1298.
- Woolrich, M. W., Behrens, T. E. J., Beckmann, C. F., Jenkinson, M., & Smith, S. M., 2004. Multilevel linear modelling for FMRI group analysis using Bayesian inference. *NeuroImage*, 21(4), 1732-1747.
- Woolrich, M. W., Ripley, B. D., Brady, M., & Smith, S. M., 2001. Temporal Autocorrelation in Univariate Linear Modeling of FMRI Data. *NeuroImage*, 14(6), 1370-1386.
- Worsley, K. J., 2001. Statistical analysis of activation images, *Functional MRI: An introduction to methods*, 14 (1), 251-70.
- Xu, B., Grafman, J., Gaillard, W. D., Ishii, K., Vega-Bermudez, F., Pietrini, P., Reeves-Tyer, P., DiCamillo, P., & Theodore, W., 2001. Conjoint and Extended Neural Networks for the Computation of Speech Codes: The Neural Basis of Selective Impairment in Reading Words and Pseudowords. *Cerebral Cortex*, 11(3), 267-277.
- Yagle, K., Richards, T., Askren, K., Mestre, Z., Beers, S., Abbott, R., Nagy, W., Boord, P., & Berninger, V., 2017. Relationships between Eye Movements during Sentence Reading Comprehension, Word Spelling and Reading, and DTI and fmri Connectivity In Students with and without Dysgraphia or Dyslexia. *Journal of systems and integrative neuroscience*, 3(1), 10.15761/JIN.1000150.
- Yu, X., Ferradal, S., Dunstan, J., Carruthers, C., Sanfilippo, J., Zuk, J., Zöllei, L., Gagoski, B., Ou, Y., Grant, P. E., & Gaab, N. 2022. Atypical functional connectivity of the left fusiform gyrus in infants at familial risk for developmental dyslexia. *MedRxiv*
- Zoubrinetzky, R., Bielle, F., & Valdois, S., 2014. New Insights on Developmental Dyslexia Subtypes: Heterogeneity of Mixed Reading Profiles. *PLOS ONE*, 9(6), e99337.



LHD İŞ MAKİNELERİNİN ÜRETİM KAPASİTELERİNİN C++ PROGRAMLAMA DİLİ İLE HESAPLANMASI

Eren YURDAKUL*, Cihan DOĞRUÖZ

Çankırı Karatekin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Çankırı, Türkiye

Anahtar Kelimeler

LHD,
C++ Programlama Dili,
Tünelcilik

Öz

LHD (yükle-taşı-boşalt) makineleri uzun yıllardır tünel açma endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu makineler enerji tüketimlerine ve teknik özelliklerine göre farklılıklar göstermektedir. Bu makineler kablolu ve dizel olmak üzere iki ana grupta sınıflandırılmaktadır. Tünel ayınarındaki hafriyatın taşınmasında sıklıkla LHD makineler kullanılmaktadır. Bu kullanım sırasında malzeme miktarı, nakliye süresi ve saatlik üretim gibi parametrelerin hesaplanması ve bu parametrelerin en kısa ve optimum koşullarda uygulanması gerekmektedir. Bu çalışmada, tünellerde LHD makinelerin kullanımı sırasında yapılan uygulamaların hesaplama süreleri C++ programlama dili tekniği ile kısaltılmıştır. Günümüzde mühendislik uygulamaları C++ programlama dili ile revize edilebilmektedir. Bu nedenle tünel açmada kullanılan iş makinelerinin uygulama sırasındaki performanslarının programlama dilleri ile desteklenmesi önem arz etmektedir. Bu sayede üretim hesabı kolaylaşmakta, hesaplama süresi kısalmaktadır. Teorik olarak elde edilen verilerin normal şartlarda manuel olarak hesaplanması uzun zaman alırken C++ programlama dili kullanıldığında kodların derleme süresi 0,39 sn sürmektedir. Çalıştırılan exe dosyası içerisinde hazır bulunan verilerin anlık olarak işlenmesi ve sonuçların alınması da giriş hızına bağlı olarak ortalama 1 sn ile 10 sn arasında değişmektedir.

CALCULATION OF PRODUCTION CAPACITIES OF LHD MACHINES BY UTILIZING C++ PROGRAMMING LANGUAGE

Keywords

LHD,
C++ Programming Language,
Tunneling.

Abstract

LHD machines have been widely used in the tunneling industry for many years. These machines differ according to their energy consumption and technical features. These machines are classified in two main groups as tethered, and diesel powered. LHD machines are frequently used for the transportation of earthwork in tunnel production grounds. During this utilization, parameters of amount of material, transport timing and hourly production should be calculated and these calculations should also be applied in the shortest and optimum conditions. In this study, the computation duration of the applications made during the use of LHD machines in tunnels has been reduced by C++ programming language technique. Today, engineering applications can be revised by using C++ programming language. Therefore, it is essential to support the performance of the construction machines used in tunneling during the application with coding. In this way, the production calculation becomes easier, and the calculation time is shortened. While manually calculating the obtained data takes a long time, using the C++ programming language, the compilation time is 0.39 seconds. Instantaneous processing of the data available in the exe file and the subsequent results can be obtained in 1 to 10 seconds, depending on the entry speed.

Alıntı / Cite

Yurdakul, E., Doğruöz, C., (2023). LHD İş Makinelerinin Üretim Kapasitelerinin C++ Kodlama Dili İle Hesaplanması, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(4), ppp-ppp.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

E. Yurdakul, 0000-0001-9633-5005
C. Doğruöz, 0000-0002-7487-4822

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	12.04.2023
Revizyon Tarihi / Revision Date	09.08.2023
Kabul Tarihi / Accepted Date	28.08.2023
Yayın Tarihi / Published Date	30.12.2023

* İlgili yazar / Corresponding author: erenyurdakul@karatekin.edu.tr, +90-376-218-9532

CALCULATION OF PRODUCTION CAPACITIES OF LHD MACHINES BY UTILIZING C++ CODING LANGUAGE

Eren Yurdakul[†], Cihan Doğruöz

Çankırı Karatekin University, Engineering Faculty, Civil Engineering Department, Çankırı, Turkey

Highlights

- C++ programming language is very popular in all aspect of engineering applications.
- The code used in the study is presented.
- The program runs smoothly, and the processing speed of the data is quite high.
- The production capacity calculation becomes easier, and the duration becomes shorter.

Purpose and Scope

The aim of this study is to shorten the calculation time in applications during the use of LHD machines in tunnels.

Design/methodology/approach

In this study, the calculation of the production capacities of LHD construction machines used in tunneling and underground mining was adapted with the C++ programming language by applying the formulas used in classical methods.

Findings

The C++ programming language is proposed for the calculation of the production capacities of LHD construction machines used in tunneling and underground mining.

Practical implications

While the calculations made with classical methods take a long time under normal conditions, it has been determined that this time is considerably reduced with the proposed C++ programming language.

Originality

Today, C++ programming language is very popular in all aspect of engineering applications. Therefore, it is quite important to support the performance of the construction machines used in tunneling during the application with coding. Thus, the calculations become easier and the duration for the calculation become shorter.

[†] Corresponding author: erenyurdakul@karatekin.edu.tr, +90-376-218-9532

1. Giriş (Introduction)

Sert kayaç hafriyatı tünelcilikte ve yeraltında oldukça zor şartlarda gerçekleşmekte ve yüksek enerji tüketimlerine sebep olmaktadır. Arından koparılan malzemenin kamyonlara nakledilmesinde LHD (Yükle-Taşı-Boşalt) iş makinelerinin kullanımı son yıllarda artış göstermektedir. Delme patlatma ve galeri açma makinesi gibi yöntemlerin ardından gevşeyen malzemenin LHD iş makineleri ile nakledilmesi tercih edilmektedir. Günümüze kadar dizel motorlu ya da kablolu yüksek voltajlı LHD iş makineleri kullanılmaktayken, kapalı ortamlarda, tünellerde ve galerilerde gaz emisyonlarının insan sağlığına verdiği zararlardan dolayı elektrikli LHD'ler üretilmeye başlanmıştır. Bazı araştırmacılar LHD kullanımının son yıllarda daha da yaygınlaşacağını vurgulamıştır (Nieto, 2011).

Sert kayalarda malzemenin mukavim olması ekipmanların daha fazla enerji sarfiyatına sebep olmaktadır. Orta ve yumuşak sertlikte kayalar, sert kayaların üretilmesi ve taşınmasında daha düşük maliyetlidir. LHD'lerin kullanılmasında bu parametreler önem taşımaktadır. Ayrıca operatör eğitimi gibi teknik gereksinimler kaçınılmazdır. Bu gibi teknik sorunların giderilmesi için malzemenin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin iyi bilinmesi gerekmektedir. Bu sorunlardan önemli olanlarından bir tanesi de toz sorunudur. Üretim ve nakliye esnasında ortaya çıkan mikro büyüklükteki tozun giderilmesi gerekmektedir. Bir diğer sorun ise gürültü olmaktadır. Elektrikli üretilen LHD iş makineleri dizel ve kablolu türlere göre daha sessiz çalışmaktadır. Curry ve arkadaşları enerji maliyetlerini düşürmek için bazı çalışmalar yürütmüşlerdir (Curry vd., 2013).

Pek çok sektörde olduğu gibi tünelcilikte ve madencilikte de enerji maliyetleri işletmenin toplam maliyetlerine kıyasla en büyük payı teşkil etmektedir. Yeraltında gerçekleştirilen üretimlerde belirli bir yöntem belirlerken anlaşılması gereken yararlar ve riskler mevcuttur (Buchan, 1998). Dizel, kablolu ve elektrikli olmak üzere üç tip LHD iş makinelerinin pil durumlarının güçlü ve zayıf yönlerini belirlemek için performans çalışmaları gerçekleştirilmiştir (Schatz vd., 2015). Görülmektedir ki, son yıllarda akü ile çalışan elektrik motorlu LHD'lerin sayısı artmaktadır. Tünel açmada kullanılan galeri açma makinelerinin kesme performanslarının etkileri ve aşınmaya karşı olan dirençleri ile ilgili bazı çalışmalar mevcuttur. Enerji sarfiyatını azaltmak için gerçekleştirilen bu çalışmalarda optimum performanslar ortaya çıkarılmıştır (Doğruöz, 2010). Bu sayede LHD'lerin de düşük enerji sarfiyatı ve temiz enerji kaynaklı üretimlerinin diğer iş makineleri ile uyumlu performans sergilemesi gerekli olmaktadır.

Malzeme nakliyesinde kullanılan LHD'lerin üretim kapasitelerinin saatlik, günlük, haftalık ve aylık gibi periyotlarda doğru teknikler ile hesaplanması son derece önem arz etmektedir. Ayrıca bu hesaplamaların maksimum verim ve minimum zamanda yapılması da çok önemlidir. LHD makinelerinin maliyet hesaplamaları ve kazı-hafriyat hesaplamaları bazı araştırmacılar tarafından çalışılmıştır (Elevli, 2009). Kazı performanslarının nakliye sürelerine etkileri, saatlik üretim kapasiteleri, malzeme cinsine bağlı enerji sarfiyatları ve buna benzer nakliye parametreleri de yapılan bazı çalışmalar sayesinde hesaplanabilmektedir (Bilgin vd. 2014).

Bu çalışmada malzeme nakliyesinde kullanılan LHD'lerin üretim kapasitelerinin saatlik hesaplanması C++ programlama dili ile gerçekleştirilmiştir. Belirli bir iş akışı ile mevcut formüller C++ programlama dili kullanılarak yapılmıştır. Yazılan kod ile LHD üretim kapasitesi, sefer süresi ve sayısı gibi parametreler hızlı bir şekilde ve hatasız olarak kolayca hesaplanabilmektedir.

2. LHD İş Makinelerine Genel Bakış (Overview of LHD Construction Equipment)

Tünelcilikte ve yeraltı madenciliğinde yer bulan yük taşı-boşalt iş makineleri arından gevşetilen hafriyat malzemesini ana galerilere iletmek için kullanılmaktadır. Bu makineler ekseriyetle yeraltı madenciliği için üretilmekte olup tünelcilikte de kullanılmaktadır. Yaygın olarak dizel ve kablolu yüksek voltajlı olarak üretilmektedir. Son yıllarda elektrikli üretilen bu makineler tünellerde ve galerilerde sıfır gaz emisyonuna sahip olması sebebiyle yaygın olarak tercih edilmektedir ve dizel motorlar yerini %100 elektrikli motorlara bırakmaktadır. Bu nakliye makineleri kapasiteleri ve güç ünitelerine göre sınıflandırılmaktadır. LHD nakliye makineleri enerji tüketimleri, güç kaynakları ve boyutlarına göre farklılıklar göstermektedir.

Yeraltında tercih edilen LHD iş makineleri genelde 52 kW motor gücüne sahiptir. Yüksek motor gücüne sahip LHD makineleri de mevcuttur. 52 kW'lık bir LHD iş makinesinin keçe kapasitesi 0,6 m³ olmaktadır. Bu makinelerin lastik ömrü ortalama 1500 saattir. Ortalama hızları ise 6 km/saat olarak değişmektedir (Elevli vd.,1996).

Çıkarılan malzemenin yoğunluğuna, miktarına ve diğer parametrelerine göre en uygun LHD seçimi gerçekleştirilebilmektedir. Genel olarak arından çıkarılan malzemeyi kamyonlara taşımada kullanılmaktadır. Bazı araştırmacılar LHD maliyetlerini düşürmek için modeller geliştirmişlerdir (Sayadi vd.,2011). Şekil 1'de elektrikli LHD iş makinesi görülmektedir. Bu makinenin maliyet ve duyarlılık analizleri Nieto ve arkadaşları tarafından

irdelenmiştir (Nieto vd., 2020).



Şekil 1. LHD yükleme-taşıma-boşaltma iş makinesi (Nieto vd., 2020) (LHD loading-hauling-dumping machine)

3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

3.1. LHD Üretim Kapasitelerinin Klasik Yöntemle Hesaplanması (Mathematical Model)

LHD makinelerinin çalışma esnasında ortalama sabit ve işletme maliyetlerini belirlemek önemlidir. Makinenin çalışacağı yerdeki kat yüksekliği, malzeme kalınlığı, kat uzunluğu ve malzemenin yoğunluğu, malzeme miktarını ton cinsinden belirlemek için kullanılmaktadır. LHD'nin nakliye süresi ise ortalama nakliye mesafesinin ortalama hıza bölünmesi ile elde edilmektedir. Böylece, dakika cinsinden sefer başına süreye ulaşılmaktadır. Taşınan malzeme miktarı ise kepçe kapasitesi, kepçe dolma faktörü, malzeme yoğunluğu ve kabarma faktörünün çarpımı ile elde edilmektedir. Aşağıda bu parametrelerin formülleri verilmektedir (Doğruöz, 2020).

$$\text{Malzeme miktarı(ton)} = \text{Çalışma kat yüksekliği(m)} * \text{Malzeme kalınlığı(m)} * \text{Kat uzunluğu(m)} * \text{Yoğunluk(ton/m}^3\text{)} \quad (1)$$

$$\text{Nakliye süresi(dk/sefer)} = (\text{Ortalama nakliye mesafesi(m)} * 2 / \text{Ortalama hız (m)}) * 60 \quad (2)$$

$$\text{Doldurma ve manevralar (dk/sefer)} = 1 \text{ (alınırsa)}$$

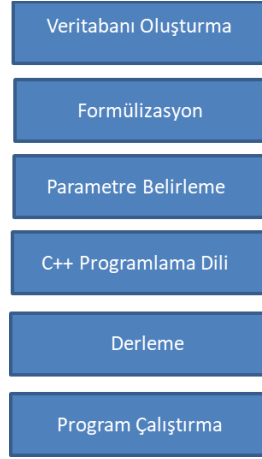
$$\text{Saatlik sefer sayısı} = 60 \text{ dk} / (\text{doldurma ve manevra} + \text{nakliye süresi}) \quad (3)$$

$$\text{Bir seferde taşınan malzeme miktarı (ton/sefer)} = \text{Kepçe kapasitesi (m}^3\text{)} * \text{Kepçe dolma faktörü (\%)} * [\text{Yoğunluk(ton/m}^3\text{)} * \text{Kabarma faktörü}] \quad (4)$$

$$\text{Saatlik üretim (ton/saat)} = \text{Saatlik sefer sayısı} * \text{Bir seferde taşınan malzeme miktarı} \quad (5)$$

3.2. LHD Üretim Kapasitelerinin C++ Kodlama Yöntemi ile Hesaplanması (Proposed Method)

C++ programlama dili mühendislik uygulamalarında sıklıkla kullanılmaktadır. 1979 yılından itibaren Bell laboratuvarlarında Bjarne Stroustrup tarafından geliştirilmeye başlanmıştır (Stroustrup, 1997). Bazı araştırmacılar C++ programlama dilinin nesne yönelimli bir dil olduğunu vurgulamaktadır. Ayrıca otomasyon kontrol yazılımı geliştirmede avantajlı olduğunu ve çoklu uygulama imkânı sağlayan bir dil olduğunu düşünmektedirler (Berman, 2007). Otomasyon kontrolü yazmak için son derece uygun bir dil olan C++ yeniden kullanılabilir arabirimler geliştirmek için optimum mekanizmalardır. Örneğin, programcılar kullanıma hazır grafikler veya kendi kütüphanelerini geliştirebilirler. Günümüzde iş makinelerinin üretim kapasitelerinin hesaplanmasında klasik yöntemler sıklıkla kullanılmaktadır. Gelişen teknoloji ve kodlama sistemlerinin mühendislik uygulamalarında kullanılmaya başlanmasıyla programcılık ve kodlama teknikleri klasik yöntemlerin yerini almaya başlamıştır. Bu sayede uygulamalarda kullanılan hesaplamalar kodlama yapılarak çok daha kısa sürede gerçekleşmekte ve daha kesin sonuçlar vermektedir. Ayrıca yeni modellerin de kurularak kodlama sayesinde sisteme entegrasyonu daha kolay olmaktadır. Yeni modüller eklenmesi, yeni hesaplamaların yapılması ve işlem kolaylığı açısından çok büyük avantajları olmaktadır. Bu çalışmada LHD iş makinelerinin saatlik üretim kapasitelerinin hesaplanmasında kullanılan formüller, C++ programlama dili ile yeniden uygulanmıştır. C++ kullanılarak yapılan kodlama ile program sorunsuzca çalışmaktadır ve işlem hızı artmaktadır.



Şekil 2. LHD uygulamalarında C++ programlama dili ile oluşturulan iş akışı (Workflow by using C++ programming language in LHD applications)

Şekil 2’de görüldüğü üzere öncelikle programın doğru çalışması için iş akışının en uygun sırada oluşturulması gerekmektedir. C++ programlama dili kullanılarak derleyicide veri tabanı oluşturulur ve üretim kapasite hesabında kullanılan formüller yazılır. Daha sonra her bir parametre belirlenmektedir ve işlem sırasına göre C++ dilinde kodlar derleyicide yazılmaya başlanmaktadır. Kullanıcının girmesi gereken veriler; kat yüksekliği, malzeme kalınlığı, kat uzunluğu, yoğunluk, nakliye mesafesi, ortalama hız, nakliye süresi, doldurma ve manevra süresi, saatlik sefer sayısı, kepçe doldurma faktörü ve kabarma faktörü olarak belirlenmiştir (Doğruöz, 2020).

Kod yazma işlemi bittikten sonra programda derleme işlemi gerçekleştirilmektedir. 0,39 saniyede derleme işlemi gerçekleştirildikten sonra son olarak programın çalışıp çalışmadığı kontrol edilmektedir. Çalışan programa veriler manuel olarak girilir ve veri girme hızına bağlı olarak ortalama 1 sn ile 10 sn arasında sonuçlar alınır. Çalışma kapsamında kullanılan kod aşağıda sunulmaktadır;

```

#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{ setlocale(LC_ALL, "");
float a, b, c, d, e, f, h, s, Ns, m, Ts, kf, ka, Mm, St;
cout << "kat yüksekliğini giriniz :";
cin >> a; cout << "malzeme kalınlığını giriniz :";
cin >> b; cout << "kat uzunluğunu giriniz :";
cin >> c; cout << "yoğunluğunu giriniz :";
cin >> d; e = a * b * c * d ;
cout << "malzeme miktarı=" << e << "ton";
cout << "\n nakliye mesafesini giriniz :";
cin >> f;
cout << "ortalama hızı giriniz :";
cin >> h; s = h * 1000 ;
Ns = f *(2/s) *60 ;
cout << "nakliye süresi =" << Ns << "sn";
cout << "\n doldurma ve manevra süresini giriniz :";
cin >> m;
Ts = 60/(m + Ns);
cout << "saatlik sefer sayısı=" << Ts << "dk";
cout << "\n kepçe doldurma faktörünü giriniz :";
cin >> kf;
cout << "kabarma faktörünü giriniz :";
cin >> ka; Mm = b * kf * (d * ka);
cout << "\n bir seferde taşınan malzeme miktarı= " << Mm << " ton";
St = Ts * Mm;
cout << "\n saatlik üretim= " << St << " ton "; }
  
```

Şekil 3. C++ programlama dili ile LHD üretim hesabı kodlaması (LHD production calculation with C++ programming language)

Şekil 3’te görüldüğü üzere saatlik sefer sayısı 1 saat = 60 dakika olacak şekilde “Ts= 60/(m + Ns);” satırında

kodlanmıştır. Bu formülde olabilecek tüm çalışma süreleri dakika olarak değiştirilebilir ve kodlamada yerine yazılarak programlanabilmektedir. Bu sayede LHD'nin kaç dakika çalıştığına bağlı olarak sefer sayısı hesabı kolaylıkla yapılabilmektedir.

Algoritması oluşturulan programın C++ dilinde kodlaması yapılmaktadır. Şekil 4'te LHD makinesinin C++ dili kullanılarak DevC++ derleyicisinde programlanmış hali görülmektedir. C++ dilinde önce başlık dosyaları gelmektedir. Başlık dosyalarından sonra ana fonksiyonlar bulunmaktadır. Şekil 4'te gerçekleştirilen kodlamada tüm parametre girişleri yapılmıştır. Program sorunsuzca çalışmaktadır ve verilerin işlem hızı oldukça yüksektir.

```

1 #include <iostream>
2 using namespace std;
3 int main()
4 {
5     float a, b, c, d, e, f, h, s, Ns, m, Ts, kf, ka, Mm, St;
6     cout << "kat yuksekligini giriniz :";
7     cin >> a;
8     cout << "malzeme kalinligini giriniz :";
9     cin >> b;
10    cout << "kat uzunlugunu giriniz :";
11    cin >> c;
12    cout << "yogunlugunu giriniz :";
13    cin >> d;
14    e = a * b * c * d ;
15    cout << "malzeme miktarı=" << e << "ton";
16    cout << "\n nakliye mesafesini giriniz :";
17    cin >> f;
18    cout << "ortalama hizi giriniz :";
19    cin >> h;
20    s = h * 1000 ;
21    Ns = f * (2/5) * 60 ;
22    cout << "nakliye suresi =" << Ns << "sn";
23    cout << "\n doldurma ve manevra suresini giriniz :";
24    cin >> m;
25    Ts = 50 / (m + Ns);
26    cout << "saatlik sefer sayisi =" << Ts << "dk";
27    cout << "\n kepce doldurma faktorunu giriniz :";
28    cin >> kf;
29    cout << "kabarma faktorunu giriniz :";
30    cin >> ka;
31    Mm = b * kf * (d * ka);
32    cout << "\n bir seferde tasinan malzeme miktarı=" << Mm << " ton";
33    St = Ts * Mm;
34    cout << "\n saatlik uretim=" << St << " ton ";
35 }

```

```

kat yuksekligini giriniz :5
malzeme kalinligini giriniz :2.2
kat uzunlugunu giriniz :100
yogunlugunu giriniz :3.5
malzeme miktarı=3850ton
nakliye mesafesini giriniz :70
ortalama hizi giriniz :9
nakliye suresi =:0.933333sn
doldurma ve manevra suresini giriniz :1
saatlik sefer sayisi =25.8621dk
kepce doldurma faktorunu giriniz :0.90
kabarma faktorunu giriniz :0.75

bir seferde tasinan malzeme miktarı= 5.1975 ton
saatlik uretim= 134.418 ton
-----
Process exited after 68.15 seconds with return value 0
Press any key to continue . . .

```

Şekil 4. DevC++ derleyicisinde C++ programlama dili ile çalıştırılan program çıktısı (Output of program run with C++ programming language in DevC++ compiler)

LHD iş makinelerinin üretim kapasitelerinin hesaplanmasında kullanılan kodlama tekniğinin çıktıları şekil 4'te örnek bir uygulama şeklinde verilmektedir. Görüldüğü üzere girdi değerlerine parametre girişleri sayısal olarak yapılmaktadır ve çok kısa sürede hesaplama gerçekleştirilmektedir. Mühendislik uygulamalarında zaman ve güvenilirlik unsurları çok önemlidir. Bilgisayar programcılığında C++ programlama dili ile hem kullanım kolaylığı açısından hem de kullanım tekniği açısından çok pratiktir.

4. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Günümüzde mühendislik uygulamalarının işlem hızını arttırmak ve çok daha kesin sonuçlara ulaşmak için gelişen teknoloji ile kodlama ve programcılık yöntemlerini kullanmak, kaçınılmaz olmaktadır. Bu sayede hesaplama süreleri çok kısalmakta ve her yeni hesaplama tekniği modüller eklenerek sisteme entegrasyonu sağlanmaktadır. Bu çalışmada tünelcilikte ve yeraltı madenciliğinde kullanılan LHD iş makinelerinin üretim kapasitelerinin hesaplanması, klasik yöntemlerde kullanılan formüller uygulanarak C++ programlama dili ile yeniden uyarlanmış ve literatüre katkı sağlanmıştır. Yazılan kod DevC++ derleyicisinde 0.45 sn gibi çok kısa bir sürede düzenlenmiş ve program hatasız çalışmıştır. Normal şartlarda klasik yöntemler ile yapılan hesaplamalar uzun sürmekteyken, kodlama tekniği ile bu sürenin oldukça azaldığı saptanmıştır. İşlem hızı ve hacmi artarak üretim kapasite hesabı kolayca gerçekleştirilmektedir. Ayrıca C++ programlama dili kullanım kolaylığı açısından ve kullanıcı dostu bir programcılık dili olduğu için mühendislik uygulamalarında son yıllarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Her programcılık dilinin kendine özgü kolaylığı mevcuttur. C++ programlama dili de kendi içinde fonksiyon yazma ve çalıştırma açısından kolaylık sağlamaktadır.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

authors.

Kaynaklar (References)

- Berman, Russel T., 2007. Using C++ to Write Automation Controller Software. Slas Technology, Elsevier, 12(1), 12-16.
- Bilgin N., Copur, H. ve Balci C., 2014. Mechanical Excavation in Mining and Civil Industries. CRC Press, Taylor-Francis Group, London.
- Buchan, G., 1998. Long panels for Longwall mining at Cyprus Twentymile Coal. Mining Engineering, 50, 21-27.
- Curry, J.A., Ismay M.J.L., Jameson G.J., 2014. Mine operating costs and the potential impacts of energy and grinding. Minerals Engineering, 56, 70-80.
- Doğruöz, C., 2010. Effect of pick blunting on cutting performance for weak-moderate rocks. Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 164s., Ankara.
- Doğruöz, C., 2020. Yeraltı Yapılarında Kullanılan İş Makineleri Çözümlü Problemler, Nobel Yayın Dağıtım, 2.Basım.
- Elevli B., Demirci A. ve Sül Ö.L. 1996. Taban ve Tavan Arınlı Dolgulu Üretim Yöntemlerinde Lhd Kullanımın Üretim Maliyeti Üzerindeki Etkileri Ve Maliyetlerin Tesbit Edilmesine Yaklaşımlar. Madencilik Dergisi, 35(2).
- Elevli, B., 2009. Maden Makineleri Yeraltı Maden İşletmeleri. Nobel Yayın Dağıtım, 2.Baskı.
- Nieto, A., 2011. SME mining engineering handbook. 3rd edition.
- Nieto, A., Schatz, R., Dogruoz, C., 2020. Performance analysis of electric and diesel equipment for battery replacement of tethered LHD vehicles in underground mining. Mining Technology, 129(4), 1-8.
- Sayadi, A.R., Lashgari, A., Paraszcak, J., 2012. Hard-rock LHD cost estimation using single and multiple regressions based on principal component analysis. Tunnelling Underground Space Technology, 27(1).
- Schatz, R., Nieto, A., Dogruoz, C., Lvov, S., 2015. Using modern battery systems in Light duty vehicles. Int J Mining Reclam Environ., 29(4), 243-265.
- Stroustrup, B., 1997. The C++ Programming Language. 3rd edition.



A COURSE TIMETABLING FORMULATION UNDER PANDEMIC CONSIDERATIONS

M. Edib GURKAN^{1*}, Ahmet Bahadır ŞİMŞEK²

¹ Department of Management Information Systems, Karabuk University, Karabuk, Turkey

² Health Care Management Department, Faculty of Health Sciences, Gumushane University, Turkey

Keywords	Abstract
<i>University Course Timetabling, Pandemic, Hybrid Education, Multi-Objective Mathematical Model.</i>	The covid-19 pandemic has significantly affected the education sector and raised the new operational challenges that spring from the necessity of planning courses in a way to ensure community safety. Accordingly, many higher education institutions provide guidelines regarding the measures to be implemented in education operations. As such, timetabling of the courses is required to be carried out in line with these guidelines. To address this need, this study introduces a multi-objective mathematical model for a university course timetabling problem under the pandemic-related considerations. In particular, the proposed mathematical model aims to minimize the total number of online courses and sections while considering the balanced distribution of the courses over time slots and days. We test the effectiveness of the proposed model using real-life data. The results show that the proposed approach is able to create an optimal timetable in a reasonable time that addresses the objectives of the faculty administration and satisfies the pandemic-related requirements. The study contributes to the literature by introducing new pandemic constraints and inspires managers facing pandemic guidelines.

PANDEMİ KOŞULLARI ALTINDA DERS ÇİZELGEMESİ FORMÜLASYONU

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Üniversite Ders Çizelgeleme, Pandemi, Hibrit Eğitim, Çok Amaçlı Matematiksel Model.</i>	Covid-19 pandemisi eğitim sektörünü önemli ölçüde etkilemiş ve derslerin toplum güvenliğini sağlayacak şekilde planlanması gerekliliğinden kaynaklanan yeni operasyonel zorlukları gündeme getirmiştir. Bu sebeple, birçok yükseköğretim kurumu, eğitim faaliyetlerinde uygulanacak önlemlere ilişkin rehberler sunmaktadır ve ders programlarının, bu rehberler göz önüne alınarak hazırlanması gerekmektedir. Bu ihtiyacı karşılamak için bu çalışmada, pandemi ile ilgili endişeleri kapsayan bir üniversite ders çizelgeleme problemi için çok amaçlı bir matematiksel model sunulmaktadır. Önerilen matematiksel model ile çevrimiçi olarak sunulması planlanan derslerin ve kapasite kısıtı sebebiyle oluşturulan şubelerin sayısı, mevcut dersleri günler ve ders saatlerine mümkün mertebe dengeli dağıtma hedefini de göz önüne alarak en düşük düzeye indirmeyi amaçlamaktadır. Önerilen modelin etkinliği gerçek yaşam verileri kullanılarak test edilmektedir. Sonuçlar, önerilen yaklaşımın fakülte yönetiminin hedeflerine hitap eden ve pandemi ile ilgili gereksinimleri karşılayan optimal bir zaman çizelgesini makul bir sürede oluşturabildiğini göstermektedir. Çalışma pandemiyle ilgili yeni kısıtları tanıtarak literatüre katkı sağlamak ve pandemi rehberleriyle yüzleşen yöneticilere ilham kaynağı olmaktadır.

Alıntı / Cite

Gurkan, M. E., Şimşek, A.B., (2023). A Course Timetabling Formulation Under Pandemic Considerations. Journal of Engineering Sciences and Design, 11(4), 1335-1347.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process
M. E. Gurkan, 0000-0003-1961-0215	Başvuru Tarihi / Submission Date 19.05.2022
A. B. Şimşek, 0000-0002-7276-2376	Revizyon Tarihi / Revision Date 11.08.2023
	Kabul Tarihi / Accepted Date 02.09.2023
	Yayın Tarihi / Published Date 30.12.2023

* İlgili yazar / Corresponding author: edibgurkan@karabuk.edu.tr, +90-370-418-6508

A COURSE TIMETABLING FORMULATION UNDER PANDEMIC CONSIDERATIONS

M. Edib GURKAN^{1†}, Ahmet Bahadır Şimşek²

¹ Department of Management Information Systems, Karabuk University, Karabuk, Turkey

² Health Care Management Department, Faculty of Health Sciences, Gumushane University, Turkey

Highlights

- The university course timetabling problem along with the pandemic considerations is considered.
- A multi-objective mathematical model is proposed to obtain course timetables satisfying pandemic-related requirements.
- The efficiency of the proposed model against a manually prepared timetable is investigated on real-life data.

Purpose and Scope

This study aims to provide an approach to assigning university courses to classrooms and time slots considering the pandemic-related requirements.

Design/methodology/approach

The problem addressed in this study is formulated as a multi-objective integer programming model, which allows for minimizing the total number of online courses and sections while distributing the courses over a week and time slots as balanced as possible.

Findings

The numerical tests conducted on the real-life data show that the proposed approach provides a more balanced timetable compared to the manually created timetable. We also observe that the proposed approach ensures following the face-to-face education model as much as possible while adhering to the pandemic rules.

Practical implications

Manually generating course timetables is a challenging and highly time-consuming task that is mainly conducted by the academic staff. The proposed approach promises to create an automated timetable and, thus, alleviates the workload of the academic staff in the faculty administration.

Originality

This study contributes to the literature by addressing a university course timetabling problem under pandemic regulations.

1. Introduction

Following the recognition of Covid-19 as a pandemic by WHO (World Health Organization, 2020), the measures taken against the spread of the virus have helped to contain the pandemic but negatively affected social and economic life (Shen et al., 2020). The education sector, which brings high risk for virus transmission, had to temporarily stop face-to-face education to hedge against the pandemic. Fortunately, it soon shifted to an online setting and ensured the continuity of education. Along with the increase in the vaccination rate and the awareness of the public, the measures have been gradually relaxed, and the education sector returned to face-to-face education in line with the pandemic prevention guidelines.

The pandemic prevention guidelines regulate two important dynamics of higher education in which the transmission risk is high, (i) campus life and (ii) educational tasks. The regulations associated with the campus life cover the measures such as hygiene, arrangements to comply with social distancing rules, and ventilation for common areas, whilst the regulations regarding educational tasks include measures related to the course and exam schedules. From the perspective of individual protection from the virus, the difference between them can be highlighted as follows. While a student has the option to stay away from the risky indoor areas in common use such as gymnasium and library, s/he does have to be in indoor areas where educational tasks, i.e., lessons and exams, are carried out. This difference reveals the importance of complying with the regulations regarding educational tasks. Some of these are as follows: reducing the duration of courses and exams, using a certain percentage of classroom capacity, and conducting some courses in an online setting. Although regulations have been defined in the pandemic prevention guideline, it has not been defined how to combine various planning

[†] Corresponding author: edibgurkan@karabuk.edu.tr, +90-370-418-6508

components such as the planning horizon, time slots, classroom capacities, number of lecturers and supervisors to implement the regulations. This situation directs managers who are faced with pandemic guidelines to innovative and effective solutions. While it is difficult to prepare schedules that satisfy all stakeholders (student, teacher, and administration) even before the pandemic, it is much more difficult to achieve this by considering the regulations related to the pandemic. In this study, the course timetabling problem, which is an important task of higher education institutions, is handled by considering the pandemic regulations.

The university course timetabling problem (UCTP) aims to assign a variety of courses to a given number of classrooms and time slots considering several constraints which can be categorized into two sets (Mirhassani and Habibi, 2013). The first set consists of constraints that must be satisfied to obtain a feasible timetable (called hard constraints), whilst the second set consists of constraints that must be satisfied as much as possible (called soft constraints). The UCTP is a challenging task that is repeatedly encountered by higher education institutions in each academic semester (Bellio et al., 2014). Manually searching for a solution to UCTP that will satisfy stakeholders is an error-prone, time-consuming process and results in a non-optimal solution. To that end, generating timetables via employing automatized support systems has become a common practice in especially large educational institutions (Dorneles et al., 2014).

The context of the UCTP may differentiate from one university to another since they all have different requirements and objectives while scheduling the courses. Therefore, the research effort on UCTP can be categorized into two major streams. The first stream focuses on developing the computationally efficient solution methods for the respective problem. UCTP falls within the class of NP-hard problems (Thepphakorn and Pongcharoen, 2019). This implies that this problem cannot be solved optimally in polynomial time for large-sized problem instances. There exists a rich literature on UCTP in which a variety of metaheuristic approaches, such as adaptive large neighborhood search algorithm (Kiefer et al., 2017), tabu search algorithm (Lü and Hao, 2010), genetic algorithm (Akkan and Gülcü, 2018), harmony search algorithm (Al-Betar & Khader, 2012), are proposed to solve large-sized problems. The studies within this stream of research concentrate on developing methods to find a close-to-optimal timetable within a reasonable time.

The second stream provides mathematical models that satisfy the case-specific needs of managers and aims to obtain optimal solutions for small or medium-sized real-world applications. This study falls within the second stream of research. The related literature has recently attracted a notable interest since the rapid advancements in information technologies have directly increased the computational capability of off-the-shelf solvers. Therefore, many researchers make use of integer programming models to solve the UCTP addressing the specific necessities and restrictions related with the educational institution under consideration. For instance, Mokhtari et al. (2021) consider the timetabling problem in an Iranian university in which the travel time between classrooms should be of concern while scheduling the courses. Colajanni and Daniele (2021) provide a mathematical model introducing novel constraints associated with lecturers' preferences, daily classroom stability and capacity utilization of the classrooms. Arratia-Martinez et al. (2021) tackle with the determining timetable for a department in a Mexican university and address the case where the course assignments are made considering the area of expertise of the lecturers. Şimşek (2021) investigates the UCTP over a case of online education arising in Turkish university and aims to present a timetable which does not suffer from the technical problems related to the density in the number of connections. Note that the literature also consists of numerous works considering different specific real-world features including lecturers' movement between classrooms (Kaviani et al., 2013), courses with repetitive sessions (Daskalaki and Birbas, 2005), gender issues (Al-Yakoob and Sherali, 2007) and balanced workload among lecturers (Domenech and Lusa, 2016).

The pandemic guideline prepared by the Turkish Higher Education Council (Council of Higher Education, 2021) gives priority to maintaining social distance and ventilating indoor environments. While preparing the course timetables, reducing the classroom capacity utilization rate and leaving at least one empty slot between the courses assigned to the same classroom satisfy both priorities. However, these practices would result in a capacity bottleneck while scheduling the courses. A prominent way to bypass this issue for any course is to divide the enrolled students into multiple subgroups or sections, where the corresponding course is provided to each section separately. This is referred to as course sectioning which may be insufficient to cope with the capacity problem as it will increase the workload of the lecturers and the number of courses to be scheduled. Fortunately, hybrid education, which combines online and face-to-face educations, is allowed in the pandemic guideline, on the condition of prioritizing the face-to-face education. Herein, the managers may decide to move the courses that cannot be carried out face-to-face, even though sectioning, to the online environment. The usage of online education option is the only way to deal with the capacity bottleneck. In order to put the theoretical solution into practice, the questions listed below must be answered. (i) which courses will be conducted online?, (ii) which courses will be divided into sections?, (iii) how will the classrooms be planned to allow ventilation. Further, the following question might be addressed, which arises from the natural structure of the course timetabling problem,

(iv) how will the courses be evenly distributed over the days and time slots without overlapping the courses of the same lecturer and students?

In this study, we address UCTP in the presence of pandemic regulations centered around mitigating the risk of virus transmission. In particular, we introduce a multi-objective integer model attempting to answer the above-mentioned questions of managers that are specific to pandemic conditions. The pandemic-oriented requirements and objectives are adopted from the pandemic guideline prepared by Council of Higher Education in Turkey (Council of Higher Education, 2021). To be able to show the benefits of the automated university course timetable, we first compare the proposed mathematical modelling approach without the pandemic considerations against the manually prepared timetable. This is done using medium-sized real-life data generated by a Turkish university. Then, we solve the complete model and discuss the results of the proposed approach based on the previously obtained data.

The remainder of the paper is organized as follows. The following section is devoted to defining the rules to be satisfied in the automated timetable and providing an overview of the problem under consideration. Section 3 presents the mathematical notation and introduces a mathematical model for the UCTP under pandemic requirements. Section 4 applies the proposed formulation to a case study in a Turkish university and discusses our numerical findings. Section 5 finalizes the paper by providing the concluding remarks.

2. Problem Description

This section first focuses on providing the details of the UCTP arises in a Turkish university and then presents the requirements to adapt it to the Covid-19 pandemic. We consider a course timetabling problem of a faculty that involves five different undergraduate programs, each of which allowing for eight semesters of curricula. There are more than 11000 enrolled students and 132 different courses in the faculty under consideration. Each semester involves 15 weeks and two types of courses offered in all of these programs; mandatory and elective. In one of the programs, belonging to the Department 1, fourth-grade students have to follow an internship program, covering four days of each week. The first course takes place at 08:00 whereas the last one starts at 17:00. A single time slot lasts 50 minutes and there is 10 minutes break between any consecutive slots. There should not be any course assignment between 12:00 and 13:00 since this slot is defined as the lunch break. The courses are taught only on weekdays and the first-grade students have to be enrolled in the introductory courses provided online by the university administration on Thursdays before noon. Put in other words, there should not be any course scheduled to weekends and to the time interval between 08:00 and 12:00 on Thursdays. There are 4 different sized classrooms, 14 in total, that can be used by any of the departments in the faculty. The faculty administration aims to obtain a feasible timetable that distributes the courses as balanced as possible within a week and time slots.

The course timetable under the abovementioned circumstances is originally created manually. More specifically, at the beginning of any semester, faculty administration specifies the classrooms to be used by each department in order to prevent possible overlaps within courses. The lecturer of each course is also predefined. Each department assigns a research assistant to allocate the department courses to the classrooms. Once all the departments generate their timetables, the faculty coordinator checks whether the resulting course timetable is feasible. S/he makes the necessary revisions in the timetable if there are any violations against the faculty requirements. Finally, the course timetable is announced to the students through the faculty website when the faculty coordinator completes the verification stage. This manual process takes two weeks on average. Here, we propose a mathematical model to generate an automated timetable which is promising in reducing the overwhelming effort of academic staff and better serving the purpose of faculty administration. The following rules should be satisfied in the resulting automated course timetable;

- Each course must be assigned to a classroom,
- The number of time slots assigned to a course must be equal to the total credit hours of the corresponding course,
- A lecturer cannot teach more than one course in any given time slot,
- There can only be a single course held in any given classroom and time slot,
- The mandatory courses of the students at the same level of education within any department cannot be overlapped,
- Time slots covering the time interval 12:00 and 13:00 must be defined as lunch break in each day,
- Courses cannot be assigned to the weekend period,
- Courses of the fourth grade students in Department 1 have to be scheduled to a single day,
- The first grade courses cannot be assigned between the time interval 08:00 and 12:00 on Thursdays,
- It is not allowed to allocate a course to a classroom unless the number of enrolled students is less than the

- classroom capacity,
- The courses should be distributed as balanced as possible within a week and time slots.

Prior to the reopening of the universities in the 2021-2022 academic year, Council of Higher Education in Turkey has released a guideline to cope with the ongoing pandemic in universities (Council of Higher Education, 2021). Building upon this, we are motivated in introducing a few new rules that have a direct influence on the course timetabling. As such, these new rules should be considered while scheduling the courses. Then, the requirements given below should be met to produce a feasible timetabling in a pandemic environment;

- The education should be face-to-face if the institution has enough resources,
- The capacity of the classrooms should be adjusted considering the social distancing rules,
- To be able to refreshen the air inside the classrooms, there should not be consecutive courses assigned to the corresponding classroom,
- The course should be divided into the sections if the number of enrolled students is higher than the adjusted capacities,
- The total number of sections should be as least as possible.

In the following section, we aim to introduce our multi-objective mathematical model to solve the problem satisfies the rules given above.

3. Mathematical Model

In this section, we first present the notation to be used in establishing the mathematical model in Table 1 and then, provide the details of the proposed formulation.

Table 1. Notation to be used in the mathematical model

	Definitions
Indices and Sets	
$c \in C$	Courses, $C = \{c_1, c_2, \dots, c_{ C }\}$
$k \in K$	Physical Classrooms, $K = \{k_1, k_2, \dots, k_{ K }\}$
$f \in F$	Online Classrooms, $F = \{f_1, f_2, \dots, f_{ F }\}$
$r \in R$	Classrooms, $R = F \cup K$
$lc \in L$	Lecturers, $L = \{lc_1, lc_2, \dots, lc_{ L }\}$
$s \in S$	Time slots, $S = \{s_1, s_2, \dots, s_{ S }\}$
$n \in N$	Days, $N = \{n_1, n_2, \dots, n_{ N }\}$
$d \in D$	Departments, $D = \{d_1, d_2, \dots, d_{ D }\}$
$z \in Z$	Grades, $Z = \{z_1, z_2, \dots, z_{ Z }\}$
Parameters	
ρ_c^{cr}	Total number of credits of course c
ρ_c^{lc}	Lecturer of the course c
ρ_c^{en}	Total number of enrolled students in course c
ρ_c^d	Department under which the course c is taught
ρ_c^z	The grade in which the course c is taught
ρ_c^s	The lecturers' time slot preference with respect to the course c
ρ_c^n	The lecturers' day preference with respect to the course c
ρ_c^{ct}	Type of the course c (i.e., mandatory, elective)
ξ_r^{cp}	Maximum capacity of a classroom r
ω	The capacity utilization rate
Decision Variables	
$\zeta_{c,r}$	Binary variable indicates whether the course c is scheduled to the classroom r , or not.
$\varphi_{c,n}$	Binary variable indicates whether the course c is scheduled to the day n , or not.
$\tau_{c,s}$	Binary variable indicates whether the course c is scheduled to the time slot s , or not
$\alpha_{c,r,n}$	Binary variable indicates whether the course c is scheduled to the classroom r on day n , or not.
o_c	Binary variable indicates whether the course c is scheduled online, or not.
$\beta_{c,r,s}$	Binary variable indicates whether the course c is scheduled to the classroom r in time slot s , or not.
$\gamma_{c,n,s}$	Binary variable indicates whether the course c is scheduled on day n in time slot s , or not.
$\phi_{c,r,n,s}$	Binary variable indicates whether the course c is scheduled to the classroom r in time slot s on day n , or not.
$k_{d,z}^{max}$	Maximum number of courses scheduled to a time slot of grade z at department d .
$w_{d,z}^{max}$	Maximum number of courses scheduled to a day of grade z at department d .
y_c	Total number of sections belong to course c .

Having provided the full notation to be used in our model, we are now ready to present the formulation of the problem under consideration. Following the goals of the faculty administration and Covid-19 guideline prepared by Council of Higher Education in Turkey, we focus on three objectives while scheduling the courses. Below, Eq. (1) minimizes the sum of online courses provided. This objective also enforces not to scheduling online courses if there are available resources for complete face-to-face education. The second objective minimizes the total number of sections created due to the capacity restriction caused by newly introduced Covid-19 rules. Thus, the workload of the lecturers' aspired to be reduced by avoiding redundant sectioning of the courses. The functions in Eq. (3) and Eq. (4) jointly serve the purpose of distributing the courses over the days and time slots as balanced as possible.

$$\min z_1 \quad \sum_{c \in \mathcal{C}} o_c \quad (1)$$

$$\min z_2 \quad \sum_{c \in \mathcal{C}} y_c \quad (2)$$

$$\min z_3 \quad \sum_{d \in \mathcal{D}} \sum_{z \in \mathcal{Z}} k_{d,z}^{max} \quad (3)$$

$$\min z_4 \quad \sum_{d \in \mathcal{D}} \sum_{z \in \mathcal{Z}} w_{d,z}^{max} \quad (4)$$

Constraints (5) guarantee that there cannot be any course scheduled to the time slots covering an interval 08:00 and 12:00 for first grade students (z_1).

$$\sum_{c \in \mathcal{C}: \rho_c^z = z_1} \gamma_{c,n_4,s} = 0 \quad \forall s \in \{s_1, s_2, s_3, s_4\} \quad (5)$$

For the sake of brevity, let us now introduce a new set M including the courses belongs to the department d_1 at grade z_4 . Then, constraints (6) enforce that each course offered to fourth grade students (z_4) in department d_1 is scheduled on a single day.

$$\sum_{c \in M} \varphi_{c,n} = \varphi_{c',n} * |M| \quad \forall c' \in M, n \in N \quad (6)$$

Constraints (7) ensure that each course can only be assigned to a single physical classroom and constraints (8) confirm that online courses can only be taught in online rooms. Constraint (9) compel each course to be assigned to either a physical or an online classroom. Constraint (10) guarantee that the course c is scheduled within a week as much as the total number of sections belong to corresponding course. Constraints (11) provide the logical relationship between the credits of any course and the number of time slots it is assigned.

$$\sum_{k \in \mathcal{K}} \zeta_{c,k} = 1 - o_c \quad \forall c \in \mathcal{C} \quad (7)$$

$$\sum_{f \in \mathcal{F}} \zeta_{c,f} = o_c \quad \forall c \in \mathcal{C} \quad (8)$$

$$\sum_{r \in \mathcal{R}} \zeta_{c,r} = 1 \quad \forall c \in \mathcal{C} \quad (9)$$

$$\sum_{n \in \mathcal{N}} \varphi_{c,n} = y_c \quad \forall c \in \mathcal{C} \quad (10)$$

$$\sum_{s \in \mathcal{S}} \tau_{c,s} = \rho_c^{cr} \quad \forall c \in \mathcal{C} \quad (11)$$

Constraints (12)-(15) relate the decision variables between each other. More specifically, constraints (12) combine the classroom and day decisions on any course into a single decision variable. Similarly, constraints (13) determine the scheduled time slot and classroom regarding the course c . Constraints (14) calculate the value of variables showing that the day and time slot decisions of each course. Finally, constraints (15) build a relationship between the (12) and (13) and define variables indicating the time, classroom and day decision for each course.

$$\alpha_{c,r,n} = \zeta_{c,r} * \varphi_{c,n} \quad \forall c \in C, r \in R, n \in N \quad (12)$$

$$\beta_{c,r,s} = \zeta_{c,r} * \tau_{c,s} \quad \forall c \in C, r \in R, s \in S \quad (13)$$

$$\gamma_{c,n,s} = \varphi_{c,n} * \tau_{c,s} \quad \forall c \in C, n \in N, s \in S \quad (14)$$

$$\phi_{c,r,n,s} = \alpha_{c,r,n} * \beta_{c,r,s} \quad \forall c \in C, r \in R, n \in N, s \in S \quad (15)$$

The following constraints ensure that at most one course can be assigned to a classroom r on any day n in time slot s .

$$\sum_{c \in C} \phi_{c,r,n,s} \leq 1 \quad \forall r \in R, n \in N, s \in S \quad (16)$$

Before proceeding any further, let us remind that the earliest and latest time slots in any day is s_1 and $s_{|S|}$, respectively. The constraints (17)-(19) make sure that the time slots assigned to any course must be consecutively.

$$\tau_{c,s_1} - \tau_{c,s_1+k} \leq 0 \quad \forall c \in C, k \in [1, \rho_c^{cr}] \quad (17)$$

$$\tau_{c,s_{|S|}} - \tau_{c,s_{|S|-k}} \leq 0 \quad \forall c \in C, k \in [1, \rho_c^{cr}] \quad (18)$$

$$-\tau_{c,k} + \tau_{c,k+1} - \tau_{c,k+i} \leq 0 \quad \forall c \in C, k \in (s_1, s_{|S|}), i \in [1, \rho_c^{cr}]: k+i \leq s_{|S|} \quad (19)$$

Classrooms can be utilized as much as the capacity utilization rate (ω). The constraints given below guarantee that the total number of students assigned to a course cannot exceed the 60 % of the corresponding classroom capacity. These constraints are essential in following the social distancing rules of the university.

$$\sum_{r \in R} \omega * \xi_r^{cp} * y_c * \zeta_{c,r} \geq \rho_c^{en} * (1 - o_c) \quad \forall c \in C \quad (20)$$

Constraints (21) make sure that a lecturer can teach only one lecture at most on a specific day and time slot. Constraints (22) avoid the potential overlap within mandatory courses belonging to a grade at any department. Finally, constraints (23) define a lunch break for each day.

$$\sum_{c \in C: \rho_c^l = 1} \gamma_{c,n,s} \leq 1 \quad \forall l \in L, n \in N, s \in S \quad (21)$$

$$\sum_{\substack{c \in C: \rho_c^d = d, \\ \rho_c^z = z, \\ \rho_c^t = m}} \gamma_{c,n,s} \leq 1 \quad \forall d \in D, z \in Z, n \in N, s \in S \quad (22)$$

$$\sum_{c \in C: \rho_c^z = 0} \tau_{c,s_4} = 0 \quad (23)$$

Constraints (24) and (25) respectively calculate the total number of courses offered within a day and in any time slot on a specific day.

$$\sum_{\substack{c \in C: \rho_c^d = d, \\ \rho_c^z = z}} \varphi_{c,n} \leq w_{k,d}^{\max} \quad \forall d \in D, z \in Z, n \in N \quad (24)$$

$$\sum_{\substack{c \in C: \rho_c^d = d, \\ \rho_c^z = z}} \tau_{c,s} \leq k_{k,d}^{max} \quad \forall d \in D, z \in Z, s \in S \quad (25)$$

The following constraints specify the preferences of the lecturers. Constraints (26) indicate the day preference of the lecturer who gives the course c . The time preference with respect to any course is ensured by (27). Constraints (28) provide the relationship between (26) and (27), and combine these variables into a decision variables representing the time and day preferences correspond to each course.

$$\varphi_{c,\rho_c^d} = 1 \quad \forall c \in C \quad (26)$$

$$\tau_{c,\rho_c^z} = 1 \quad \forall c \in C \quad (27)$$

$$\gamma_{c,\rho_c^d,\rho_c^z} = 1 \quad \forall c \in C \quad (28)$$

Constraints (29) express that there cannot be consecutive courses assigned to any classroom r in a day and finalizes the proposed model. As such, these constraints imply that there is enough time to refreshen the air in the classroom until the next lecture starts.

$$\phi_{c,r,n,s} + \sum_{c' \in C: c' \neq c} \phi_{c',r,n,s+1} \leq 1 \quad \forall n \in N, r \in R, s \in \{s_1, \dots, s_{|S|-1}\}, c \in C \quad (29)$$

For the ease of readability, we provide the complete mathematical model in the following. Thus, the course timetable considering pandemic circumstances can be generated once the formulation given below is solved.

$$\begin{aligned} & \min \quad (1)-(4) \\ & \quad (7)-(29), \\ & \text{subject to} \quad \zeta_{c,r}, \varphi_{c,n}, \tau_{c,s}, \alpha_{c,r,n}, \beta_{c,r,s}, \gamma_{c,n,s}, \phi_{c,r,n,s}, k_s^{max}, w_{d,z}^{max}, \\ & \quad \gamma_c \in \{0,1\}, o_c \in \{0,1\}, r \in R, s \in S, n \in N, d \in D, z \in Z. \end{aligned} \quad (30)$$

4. Numerical Results

This section discusses the numerical findings obtained via solving the proposed mathematical model formulation. Here, we first aim to assess the quality of the automated timetable as compared to its manual counterpart. To that end, we use the data set provided for the fall semester of 2021. Note that the manual timetabling corresponding to the semester under consideration has been created without considering the pandemic-related requirements. Accordingly, we solve the proposed mathematical model by excluding the pandemic-oriented constraints and objectives to achieve a fair comparison. Our second goal in this numerical study is to check how the automated timetable deals with the circumstances in which the scarce resources due to the pandemic-related requirements are of concern.

We use Gurobi v9.0.1 solver on an Intel Core i5-8250U CPU with 12 GB RAM to conduct all the numerical experiments. The proposed formulation is solved using a lexicographic approach under which each objective is optimized sequentially following its priority order. The priority order of the objectives is as follows; $z_1 > z_2 > z_3 > z_4$. In what follows, we present and discuss our numerical results.

4.1. Automated vs Manual Timetable

We present the automated and manual timetable based on the distribution of the courses within faculty over the days Table 2. Remind that our aim is to distribute the courses as balanced as possible and lower deviation is the basic indicator of the balanced timetable. If we take a detailed look at the results in Table 2, we observe that the proposed mathematical model yields a timetable in which the average number of the courses ranging from 1.21 to 1.53 whereas that of the manual timetable ranges from 1.05 to 1.84. Further, automated timetable results in lower deviation as compared to the manual timetable in most of the days. These findings imply that the automated timetable distributes courses over days more balanced.

Table 2. Distribution of the courses over days

<i>D</i>	<i>Z</i>	Automated					Manual				
		<i>N</i>					<i>N</i>				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	1	2	1	1	1	1	2	2	2	0	0
1	2	3	3	2	2	1	3	2	3	0	3
1	3	2	2	1	2	2	2	2	2	3	0
1	4	0	0	0	3	0	0	3	0	0	0
2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	0
2	2	1	2	2	1	0	2	1	0	1	2
2	3	1	1	2	1	2	1	2	2	1	1
2	4	1	2	2	2	0	2	2	2	1	0
3	1	1	1	1	1	1	2	2	1	0	0
3	2	1	2	2	1	1	1	2	1	2	1
3	3	1	2	1	2	2	2	2	1	2	1
3	4	2	0	2	2	2	1	2	1	2	2
4	1	1	1	1	1	1	2	2	0	1	0
4	2	2	0	1	2	2	2	2	1	1	1
4	3	1	3	2	2	3	2	2	2	2	3
4	4	2	2	2	2	1	1	2	2	2	2
5	1	1	1	1	0	1	2	0	1	0	1
5	2	2	2	1	1	1	2	2	1	1	1
5	3	2	1	1	2	1	1	1	1	2	2
	<i>Mean</i>	1.42	1.42	1.37	1.53	1.21	1.63	1.84	1.26	1.16	1.05
	<i>Std.Dev.</i>	0.67	0.88	0.58	0.68	0.77	0.67	0.59	0.78	0.87	1.00

Table 3 presents the corresponding timetables based on the distribution of courses over time slots. It can be observed that the mean of the first time slot in the manual timetable is 0.26. This shows that the first time slot is rarely used while allocating the courses in the manual timetable. Also, the most used time slot having a mean of 3.42. The mean values in the automated timetable, on the other hand, ranges from 1.00 to 3.05. Accordingly, the automated timetable yields lower standard deviations in most of the time slots and provides a more balanced distribution of the courses over time slots when compared to its manual counterpart.

Table 3. Distribution of the courses over time slots

D	Z	Automated										Manual									
		S										S									
		1	2	3	4	6	7	8	9	10	1	2	3	4	6	7	8	9	10		
1	1	0	1	2	2	2	2	2	2	2	0	2	2	2	3	3	1	1	1		
1	2	3	3	3	2	3	3	2	3	3	0	1	4	4	4	4	3	3	2		
1	3	2	3	3	1	2	2	2	3	3	1	2	3	3	4	4	2	1	1		
1	4	1	1	0	0	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1		
2	1	0	2	2	2	2	2	2	1	1	0	1	1	1	3	4	3	1	0		
2	2	1	3	3	2	0	2	3	3	1	0	3	3	3	1	2	3	2	1		
2	3	1	3	3	2	3	4	4	1	0	1	3	3	2	2	4	4	2	0		
2	4	2	3	3	1	1	2	4	3	2	1	3	3	2	3	3	4	1	1		
3	1	1	2	2	1	1	1	2	2	2	0	1	1	1	2	2	3	2	2		
3	2	3	3	3	0	2	2	2	2	2	0	2	2	2	2	3	3	3	2		
3	3	3	4	4	1	1	2	4	3	2	0	3	3	3	0	0	5	5	5		
3	4	4	4	4	0	0	1	4	4	3	0	3	3	3	2	2	5	3	3		
4	1	2	2	2	0	2	2	3	1	1	0	2	2	2	0	0	3	3	3		
4	2	3	4	4	1	1	3	3	2	0	1	2	2	1	0	0	5	5	5		
4	3	3	5	5	2	5	5	6	1	1	0	6	6	6	0	0	5	5	5		
4	4	4	4	4	0	3	3	5	2	2	0	4	4	4	0	0	5	5	5		
5	1	2	2	2	0	0	0	2	2	2	0	1	2	2	1	0	2	2	2		
5	2	2	3	3	1	1	1	4	3	3	0	2	2	2	5	5	5	0	0		
5	3	2	3	3	1	1	2	4	3	2	1	3	3	2	3	3	4	1	1		
<i>Mean</i>		2.05	2.89	2.89	1.00	1.63	2.11	3.05	2.21	1.74	0.26	2.32	2.63	2.42	1.89	2.11	3.42	2.42	2.11		
<i>Std.Dev.</i>		1.15	1.02	1.07	0.79	1.22	1.12	1.36	0.89	0.91	0.44	1.30	1.18	1.23	1.52	1.68	1.43	1.57	1.71		

Considering that manual scheduling is the result of about two weeks of effort with the participation of a research assistant from each department, it is noticed that automated scheduling can produce time-effective as well as higher-quality schedules.

4.2. Automated Timetable with Pandemic Considerations

This subsection presents the results of the complete mathematical model provided in Section 3 and the results prove that with the proposed model, managers can answer the questions faced by the pandemic guide. Table 4 shows the total number of online and face-to-face courses scheduled for each department. The results demonstrate that it is not possible to obtain a feasible timetable for the faculty under consideration by allowing only for face-to-face education and aiming to follow the pandemic-related rules. This results in the appearance of online courses in the automated timetable. We observe that the total number of online classrooms corresponds to almost half of the physical classrooms scheduled over a week in the automated timetable. The variability in the ratio of online/face-to-face courses between departments is due to the difference in the number of enrollments. From this perspective, it is seen that departments 4 and 2 are relatively more affected by the capacity bottleneck due to the high number of students. Table 4 shows that the rate of hybrid education between departments within the same faculty is variable. Considering that the online education has pros and cons compared to face-to-face education, the criticism that the faculty management does not treat the departments fairly may appear. However, it is clear that there is no more acceptable way to ensure continuity of education in accordance with the pandemic guideline.

Table 4. Total number of online and face-to-face courses scheduled for each department

D	Online Courses	Face-to-face Courses
1	8	21
2	13	12
3	7	21
4	15	20
5	0	18
<i>Total</i>	43	92

Table 5. Total number of single and multi-section courses offered by departments

D	Single	Multi
1	16	13
2	23	2
3	12	16
4	28	4
5	16	2
<i>Total</i>	95	37

Table 5 summarizes the course sectioning decisions obtained from the automated timetable. Keeping in mind that the priority order $z_1 > z_2$, it is observed that the automated timetable first considers to sectioning the course instead of allocating the corresponding course to the online program. This illustrates that the results of the proposed approach coincides with the pandemic-related goals of the Council of Higher Education in Turkey (see e.g., Council of Higher Education, 2021). As such, almost one-third of the total courses are sectioned. Also, we notice that the total number of sections of any course is two at most. This implies that allocating the course to the online program is always a more reasonable decision than dividing the corresponding course into more than two sections in our case.

Table 6. Distribution of the courses over days under Pandemic Planning

D	Z	N				
		1	2	3	4	5
1	1	2	1	1	1	2
1	2	3	3	4	4	3
1	3	1	2	3	3	3
1	4	3	0	3	0	0
2	1	2	0	2	1	1
2	2	1	1	0	2	2
2	3	2	1	2	1	1
2	4	2	1	1	2	2
3	1	2	2	2	0	1
3	2	1	3	2	2	3
3	3	3	1	2	3	3
3	4	3	3	2	3	3
4	1	1	1	1	1	1
4	2	1	2	1	2	1
4	3	3	2	3	3	2
4	4	3	1	1	3	3
5	1	2	1	2	0	1
5	2	0	2	1	2	2
5	3	1	1	2	1	2
<i>Mean</i>		1.89	1.47	1.84	1.79	1.89
<i>Std.Dev.</i>		0.91	0.88	0.93	1.15	0.91

Table 7. Distribution of the courses over time slots under Pandemic Planning

D	Z	S									
		1	2	3	4	6	7	8	9	10	
1	1	0	1	2	2	2	2	2	2	2	
1	2	3	3	3	2	3	3	2	3	3	
1	3	1	3	3	2	3	3	2	2	2	
1	4	1	1	1	1	1	1	0	0	0	
2	1	1	2	2	1	2	2	2	1	1	
2	2	1	3	3	2	2	2	3	1	1	
2	3	0	3	3	3	1	3	4	3	1	
2	4	3	3	3	0	0	1	4	4	3	
3	1	1	2	2	1	2	2	2	1	1	
3	2	0	2	3	3	1	2	3	3	2	
3	3	2	4	4	2	1	3	4	3	1	
3	4	1	4	4	3	2	4	4	2	0	
4	1	2	2	2	0	1	1	3	2	2	
4	2	3	4	4	1	0	2	3	3	1	
4	3	4	6	6	2	4	4	5	1	1	
4	4	2	4	4	2	2	2	5	3	3	
5	1	1	2	2	1	1	1	2	1	1	
5	2	0	3	3	3	1	2	4	3	2	
5	3	1	3	3	2	1	3	4	3	1	
<i>Mean</i>		1.42	2.89	3.00	1.74	1.58	2.26	3.05	2.16	1.47	
<i>Std.Dev.</i>		1.14	1.17	1.08	0.91	0.99	0.91	1.23	1.04	0.88	

A striking finding in Table 5 is that departments 2 and 4 have relatively few multi-section courses. When Tables 4 and 5 are evaluated together, it is apparent that many of the courses of both departments are conducted online, and among the remains, those that cannot be conducted in a single section are multi-sections. Another inference is that the tables complement each other. A department with many online courses has fewer multi-section courses and vice versa. The most important factor in whether a course is multi-section or not is the capacity of the classrooms. The fact that the existing classrooms are not homogeneous and that the already low capacity of some classrooms is reduced further due to the utilization rate makes low-capacity classrooms useless. Table 5 also indicates that the scarcity of capacity as a result of the pandemic guideline significantly affect sectioning decisions and thus, poses a challenge for planning.

Another issue that should be brought to the fore regarding sectioning is the increase in the workload of lecturers. Workloads are limited and charged by legal regulations. The pandemic guideline causes an increase in the workload of lecturers, but does not remark on the regulations regarding workloads. Multi-section courses were minimized with the objective z_2 to reduce the dissatisfaction caused by excessive workload, albeit for a temporary period. In this way, effective use of classrooms is ensured.

Table 6 and Table 7 report the distribution of courses over days and time slots, respectively. It can be seen from these tables that the courses are distributed as balanced as possible even under pandemic environment, where the limited capacity of classrooms is of concern and scheduling courses consecutively on any day is not allowed.

5. Conclusion

This study addresses a university course timetabling problem under the pandemic considerations in which the capacities of the classrooms are downsized whereas the face-to-face education model is aspired to be maintained as much as possible. To solve this problem, we propose a multi-objective modelling approach, building upon the pandemic guideline released by the Council of Higher Education in Turkey (Council of Higher Education, 2021), that handles each objective sequentially based on its priority. In particular, the proposed mathematical model concerns with minimizing the total number of online courses and sections while distributing the courses over a week and time slots as balanced as possible. We test the effectiveness of the proposed modelling approach against manually prepared timetable using a real-life data of a faculty provided for the fall semester of 2021. This comparison is made without pandemic-related objectives and constraints since the manual timetable ignores the pandemic concerns. We show that the proposed modelling approach yields more balanced timetable against its manual counterpart and solves the problem in a reasonable time. Also, we run the complete model adopting the previously obtained data. The results demonstrate that the proposed approach is able to ensure following the face-to-face education model as much as possible while adhering the pandemic rules and balancing the courses within week and time slots.

The solution time required to solve the proposed model and thus, generate an optimal timetable is around a couple of hours. However, the corresponding model would become more complex to be solved to optimality when institution-specific requirements incorporated into the problem. Therefore, one might explore the heuristic solution approaches for the problem under consideration. Also, faculty administration might consider enrolling students with the same service course under different departments' curricula in a single online course to deal with the capacity bottleneck arising from the pandemic regulations. The proposed mathematical model does not consider such a rule; thus, extending the model to this type of pandemic-related setting would be interesting in solving a practical problem. Improving a decision support tool integrated with the proposed mathematical model and investigating the impacts of the automated timetable on both students and academic staff would also be another direction for future research.

Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

References

- Akkan, C., & Gülcü, A. (2018). *A Bi-criteria Hybrid Genetic Algorithm with Robustness Objective for the Course Timetabling Problem*.
- Al-Betar, M. A., & Khader, A. T. (2012). A harmony search algorithm for university course timetabling. *Annals of Operations Research*, 194(1), 3–31. <https://doi.org/10.1007/s10479-010-0769-z>
- Al-Yakoob, S. M., & Sherali, H. D. (2007). A mixed-integer programming approach to a class timetabling problem: A case study with gender policies and traffic considerations. *European Journal of Operational Research*, 180(3), 1028–1044. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.04.035>
- Arratia-Martinez, N. M., Maya-Padron, C., & Avila-Torres, P. A. (2021). University Course Timetabling Problem with Professor Assignment. *Mathematical Problems in Engineering*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/6617177>
- Barnhart, C., Bertsimas, D., Delarue, A., & Yan, J. (2021). *Course Scheduling Under Sudden Scarcity: Applications to Pandemic Planning*.
- Bellio, R., Ceschia, S., di Gaspero, L., Schaerf, A., & Urli, T. (2014). *Feature-based tuning of simulated annealing applied to the curriculum-based course timetabling problem*. <http://arxiv.org/abs/1409.7186>
- Colajanni, G., & Daniele, P. (2021). A new model for curriculum-based university course timetabling. *Optimization Letters*, 15(5), 1601–1616. <https://doi.org/10.1007/s11590-020-01588-x>
- Council of Higher Education. (2021). *YÖK, üniversitelerdeki KOVİD-19 tedbirlerini ve eğitim süreçlerinin çerçevesini belirledi*. <https://www.yok.gov.tr/Sayfalar/Haberler/2021/yok-ten-covid-19-tedbirlerine-yonelik-uygulama-rehberleri.aspx>
- Daskalaki, S., & Birbas, T. (2005). Efficient solutions for a university timetabling problem through integer programming. *European Journal of Operational Research*, 160(1), 106–120. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2003.06.023>
- Domenech, B., & Lusa, A. (2016). A MILP model for the teacher assignment problem considering teachers' preferences. *European Journal of Operational Research*, 249(3), 1153–1160. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.08.057>
- Dorneles, Á. P., de Araújo, O. C. B., & Buriol, L. S. (2014). A fix-and-optimize heuristic for the high school timetabling problem. *Computers and Operations Research*, 52(PART A), 29–38. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2014.06.023>
- Gui, X., Gou, Z., Zhang, F., & Yu, R. (2021). The impact of COVID-19 on higher education building energy use and implications for future education building energy studies. *Energy and Buildings*, 251. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111346>
- Kaviani, M., Shirouyehzad, H., & Sajadi, S. M. (2013). A mathematical model for university course timetabling problems by considering multi functions A mathematical model for university course timetabling problems. In *Int. J. Modelling in Operations Management* (Vol. 3).
- Kiefer, A., Hartl, R. F., & Schnell, A. (2017). Adaptive large neighborhood search for the curriculum-based course timetabling problem. *Annals of Operations Research*, 252(2), 255–282. <https://doi.org/10.1007/s10479-016-2151-2>

- Lü, Z., & Hao, J.-K. (2010). Adaptive Tabu Search for Course Timetabling. In *European Journal of Operational Research* (Vol. 200, Issue 1).
- Mirhassani, S. A., & Habibi, F. (2013). Solution approaches to the course timetabling problem. *Artificial Intelligence Review*, 39(2), 133–149. <https://doi.org/10.1007/s10462-011-9262-6>
- Mokhtari, M., Vaziri Sarashk, M., Asadpour, M., Saeidi, N., & Boyer, O. (2021). Developing a Model for the University Course Timetabling Problem: A Case Study. *Complexity*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/9940866>
- Shen, H., Fu, M., Pan, H., Yu, Z., & Chen, Y. (2020). The Impact of the COVID-19 Pandemic on Firm Performance. *Emerging Markets Finance and Trade*, 56(10), 2213–2230. <https://doi.org/10.1080/1540496X.2020.1785863>
- Şimşek, A. B. (2021). *Journal of Turkish Operations Management A course timetabling formulation under circumstances of online education Article Info* (Vol. 2, Issue 5). <https://orcid.org/0000-0002-7276-2376>
- Thepphakorn, T., & Pongcharoen, P. (2019). Variants and parameters investigations of particle swarm optimisation for solving course timetabling problems. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 11655 LNCS. https://doi.org/10.1007/978-3-030-26369-0_17
- World Health Organization. (2020). *WHO Director-General's opening remarks at the media briefing on COVID-19 - 11 March 2020*. <https://www.who.int/director-general/speeches/detail/who-director-general-s-opening-remarks-at-the-media-briefing-on-covid-19---11-march-2020>



BİR OLUKLU MUKAVVA İŞLETMESİNDE REGRESYON ANALİZİ İLE MAKİNE İŞLEM SÜRELERİNİN TAHMİN EDİLMESİ

Ozan ÇAPRAZ*, Gülşah ALTAY, Olcay POLAT

Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Denizli, Türkiye

Anahtar Kelimeler

*Oluklu Mukavva,
Regresyon Analizi,
Makine İşlem Süresi,
Tahmin,
Üretim Planlama.*

Öz

Bu çalışma, Türkiye’de oluklu mukavva üretimi alanında faaliyet gösteren bir işletmenin makine işlem sürelerinin tahmin edilmesi üzerine odaklanmaktadır. İşletmede iki aşamalı üretim yapılmakta olup birinci aşamada oluklu makinesinden (hattından) çıkan yarı mamul levhalar ikinci aşamada konfeksiyon makinelerinde müşterinin istediği nihai ürün haline gelmektedir. Korelasyon analizleri yapılarak belirlenen girdi değişkenleri (bobin büyüklüğü, dalga cinsi, kâğıt türü, çalışılan metre) kullanılarak oluklu makinesi için çok değişkenli doğrusal regresyon analizi gerçekleştirilmiştir. Konfeksiyon bölümünde ise, bir bağımsız değişken (levha adedi) kullanılarak farklı özellikteki makineler için farklı analizler (kuşe durumuna, dalga cinsine göre) ile tek değişkenli doğrusal regresyon analizleri yapılmıştır. Tahminlerin gerçek verilerle karşılaştırılması için ortalama mutlak yüzde hata (MAPE) kriteri kullanılmıştır. İşletmede mevcut durumda kullanılan uzman tahminlerine göre kıyasla regresyon analizleri ile tahminler daha başarılı sonuçlar vermiştir. Mevcut veriler üzerinden yapılan kıyaslamada, oluklu makinesi için MAPE değeri %22,333’ten %3,530’a ve konfeksiyon bölümü için ortalama MAPE değeri %38,167’den %22,456’ya düşmüştür. Sonuç olarak, planlama ve çizelgeleme süreçlerinin etkinliğinin artacağı düşünülmektedir.

ESTIMATION OF MACHINE PROCESSING TIMES USING REGRESSION ANALYSIS IN A CORRUGATED CARDBOARD COMPANY

Keywords

*Corrugated Cardboard,
Regression Analysis,
Machine Processing Time,
Estimation,
Production Planning.*

Abstract

This study focuses on estimating machine processing times of a company producing corrugated cardboard in Turkey. The production process consists of two stages. Semi-finished products (plates) are produced by a corrugating machine (line), and then the plates become final products according to the customers’ requests. Multi-variate linear regression (LR) analysis has been performed for the corrugating machine by using independent variables (i.e. coil size, wave type, paper type, worked meter) determining by correlation analyses. Secondly, uni-variate LR analyses for coated condition and wave type of final product have been performed with an independent variable (number of plates) for each machine with different characteristics. MAPE criterion has been selected to compare the estimated results with real values. The estimations of LR analyses are more successful compared to the estimations of experts currently used in the company. Using the existing dataset, MAPE has reduced from 22,333% to 3,530% for the corrugating machine and from 38,167% to 22,456% for average of machines in the second stage. The findings show that efficiency of production planning and scheduling activities will increase.

Alıntı / Cite

Çapraz, O., Altay, G., Polat, O., (2023). Bir Oluklu Mukavva İşletmesinde Regresyon Analizi ile Makine İşlem Sürelerinin Tahmin Edilmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(4), 1348-1364.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

O. Çapraz, 0000-0003-4469-2638
G. Altay, 0000-0003-0989-8497
O. Polat, 0000-0003-2642-0233

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	08.03.2023
Revizyon Tarihi / Revision Date	04.09.2023
Kabul Tarihi / Accepted Date	04.09.2023
Yayın Tarihi / Published Date	30.12.2023

* İlgili yazar / Corresponding author: ocapraz@pau.edu.tr, +90-258-296-3083

ESTIMATION OF MACHINE PROCESSING TIMES USING REGRESSION ANALYSIS IN A CORRUGATED CARDBOARD COMPANY

Ozan Çapraz[†], Gülşah Altay, Olcay Polat

Pamukkale University, Faculty of Engineering, Department of Industrial Engineering, Denizli, Turkey

Highlights

- Uni- and multi-variate linear regression models are proposed to estimate machine processing times.
- It is aimed at increasing the efficiency of the production planning and scheduling activities.
- MAPE are reduced as compared to experts' estimations currently applied in the company.

Graphical Abstract

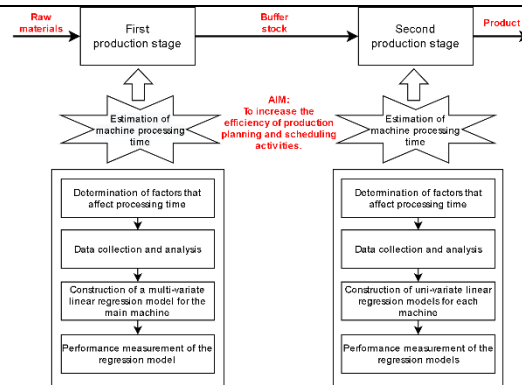


Figure. The Flowchart of the Study

Purpose and Scope

The corrugated cardboard company has two-stage production system. According to the observations, some problems resulting from production planning and scheduling activities may occur in the buffer stock area. Using average value for the planning and scheduling may cause deviations from the planned production amounts due to estimation errors. Therefore, in this study, it aimed at increasing the efficiency of production planning and scheduling activities with more accurate estimations.

Design/methodology/approach

In this study, uni- and multi-variate linear regression (LR) models are proposed to estimate machine processing times. In the first production stage, multi-variate LR analysis has been performed for the corrugating machine by using independent variables (i.e. coil size, wave type, paper type, worked meter) determining by correlation analyses. Secondly, uni-variate LR analyses for coated condition and wave type of final product have been performed with an independent variable (number of plates) for each machine with different characteristics.

Findings

The estimations of LR analyses are more successful compared to the estimations of experts currently used in the company. Using the existing dataset, MAPE has reduced from 22,333% to 3,530% for the corrugating machine and from 38,167% to 22,456% for average of the machines in the second stage.

Research limitations/implications

In the study, the successful estimations with the multi-variate LR models have been obtained in the corrugating machine. Although average value of the estimations in the second stage are good, the estimations of some machines are still improvable due to operator -based productivity changes in those machines.

Practical implications

A real problem of a company has been handled in this study. The real past data between 2018 and 2019 have been used in the regression analyses. The obtained regression equations demonstrate the practical implication of the study because these equations can help to significantly improve the company's planning activities.

Originality

The originality of the study can be given in the following three aspects. Firstly, the study aims to contribute the company's production planning and scheduling activities by reducing the deviations of the planned and actual processing times. Secondly, it helps to determine the parameters affecting the processing times in both stage for researchers and companies. Thirdly, specific LR equations have been created to estimate machine processing times of the products. Therefore, using these equations, it is planned to contribute process improvement studies.

1. Giriş (Introduction)

[†] Corresponding author: ocapraz@pau.edu.tr, +90-258-296-3083

İşletmelerin artan rekabet koşullarına ayak uydurabilmeleri; müşteri taleplerini doğru zamanda, istenen uygunluk ve kalitede, istenen miktarda ve minimum maliyetle karşılanması yönünde çalışmalar yapması ile sağlanabilir. Bu çalışmalar kapsamında, işletmeler değişime hızlı bir şekilde cevap vermek isterken kar elde edebilmek için de maliyetleri düşürmenin yollarını aramaktadır. Maliyetleri azaltmanın yolu üretimde belirli hedeflere yönelik planlamalar yapmak, hazırlanan planlara uygun çalışmak, girdi başına düşen çıktı miktarını arttırmak ile mümkün gözükmektedir. İşletmelerin mevcut kaynaklarını verimli şekilde kullanması ve rekabet koşullarında devamlılığını sağlaması için literatürde çeşitli yöntemler ve teknikler geliştirilmiş olup üretim planlama ve kontrol çalışmaları altında üretim planlama, üretim çizelgeleme, malzeme ihtiyaç planlaması, kapasite planlaması, hat dengeleme vb. çalışmalar bunların başında gelmektedir (Nahmias, 2005; Tanyaş ve Baskak, 2008).

Üretim çizelgeleme, üretim planlama ve kontrol çalışmalarında yapılacak işlerin sırasının ve bu işlere ayrılacak optimum kaynak miktarının belirlendiği önemli bir karar verme problemidir. Çizelgeleme çalışmalarında, parçaların üretime başlama ve bitiş zamanları, hangi bölümlerde ve makinelerde işlem göreceği, varsa parçaların işleme öncelikleri ayrıntılı olarak belirlenmeye çalışılmaktadır (Tanyaş ve Baskak, 2008; Pinedo, 2016). Gerçek hayat problemlerinde çoğu zaman iş sayısı fazladır ve kısa zaman içinde işlerin teslim edilmesi talep edilmektedir. Böyle durumlarda müşterilerin ve çalışanların beklentilerini sağlayarak optimum sonuca ulaşmak genellikle zor olmaktadır (Kırış, 2008). Diğer bir ifade ile, üretim çizelgeleme problemi, girdi sayısının artmasına bağlı olarak optimum çözümü bulmanın zor olduğu veya zaman aldığı problemlerden biridir (Pinedo, 2016). Bahsedildiği gibi zaten zor bir problem olan çizelgeleme çalışmalarında, gelen siparişlerin süreçteki her makine için üretim sürelerinin belirlenerek başlangıç ve bitiş zamanlarının planlanması çizelgeleme çalışmalarının daha doğru sonuçlar vermesine ve üretimin düzenli yapılmasına katkı sağlayacaktır (Sabuncuoğlu ve Bayız, 2000; Kırış, 2008). Sonuç olarak, çizelgeleme çalışmaları sırasında makinelerin siparişleri işleme süreleri büyük önem taşımaktadır. Gelen siparişin üretim süresini belirleyerek makinelere sipariş yüklemesi yapmak, çizelgelemenin daha doğru sonuçlar vermesini ve üretimin daha düzenli yapılmasını sağlayacaktır. Bu şekilde beklentiler ve duruşlar azaltılabilir, zamandan ve enerjiden tasarruf sağlanabilir (Cihanlı, 2010).

İşletmeler belirli hedefler doğrultusunda geleceğe yönelik planlamalar yapabilmek için çeşitli tahmin çalışmaları yürütmektedir (Karahan, 2015). Birçok sektörde olduğu gibi oluklu mukavva işletmeleri de sektörün zorlu rekabet koşullarına ayak uydurabilmek için potansiyel üretim miktarlarını belirlemek istemektedirler. Makinelerin çalışma sürelerinin belirlenmesi, üretimdeki planlama ve çizelgeleme faaliyetleri için ihtiyaç duyulan önemli girdilerden biridir. Fakat makine çalışma sürelerinin ürünün en ufak ayrıntısına göre farklılık göstermesi ve bunun sonucunda çalışma süreleriyle ilgili detaylı bir çalışma yapılmayarak genel geçer süre tahminlerinde bulunulması bazı problemleri ortaya çıkarmaktadır (Özcan, 2007).

Bu makalede, Türkiye’de oluklu mukavva sektöründe faaliyet gösteren bir işletmenin üretimde süreç iyileştirme çalışmaları kapsamında makine işlem sürelerinin tahmin edilmesi için çalışmalar yürütülmüştür ve elde edilen sonuçlar paylaşılmıştır. İşletmede, oluklu mukavva üretim süreci iki aşamalı olarak gerçekleşmektedir: Birinci aşamada ana makine olarak adlandırılan oluklu hattından çıkan yarı mamul levhalar ikinci aşamadan konfeksiyon makinelerinin bulunduğu iş istasyonlarında müşterinin istediği nihai ürün haline gelmektedir. Oluklu hattından çıkan ara stokların konfeksiyon makineleri için uygun olmadığı durumlarda, konfeksiyon makinelerinden bazıları kullanım dışı kalabilmektedir. Benzer şekilde, ara stok miktarının çok olduğu durumlarda stok alanında levha aranması durumu sebebiyle makineler boş bekleyebilmektedir. Bu durum işletme için üretim kayıplarına neden olabilmektedir. Bu kapsamda bazı süreçlerin iyileştirmesi için çalışmalar yapılmıştır. Ara stok alanında yaşanan sorunların üretimdeki planlama ve çizelgeleme çalışmaları kaynaklı olduğu belirlenmiştir. Sistemde üretimin planlaması için kullanılan en önemli ölçüt makinelerin çalışma süreleridir. Bu çalışma sürelerinin ürünün en ufak ayrıntısına göre farklılık göstermektedir. Örneğin; günlük 24 saat kullanılması düşünülen makinelerde olabilecek tahmin yanlışları yüzünden ortalama bir rakama göre üretimde planlama ve çizelgeleme yapılması zorunlu hale gelmektedir. Bunun sonucunda ise istenilen üretim akışında sapmalar oluşmaktadır. Sonuç olarak, planlama ve çizelgeleme süreçlerinin etkinliğinin artırılması adına tahminleme çalışmaları yapılmıştır.

Oluklu mukavva üretiminde üretim hızını etkileyen birçok etmen bulunmaktadır. Üretilen ürünün çeşitliliği yanında makinelerin hazırlık süreleri, duruşları, arızaları gibi etmenler bunlardan bazılarıdır. Planlama ve çizelgeleme gibi faaliyetlerin yapılabilmesi için ürün çeşitleri ve makine özelliklerine bağlı olarak değişen bu üretim sürelerinin tahmin edilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Yapılan gözlemlerle her sipariş için kullanılan kâğıt cinsleri, dalga cinsleri, bobin büyüklüğü, sipariş boyutları, baskı türleri gibi özellikler belirlenmiş ve her siparişin üretim süresi tespit edilmiştir. Bu veriler kullanılarak regresyon analizleri yapılmış ve tahmini üretim süreleri için uygun denklemler oluşturularak yeni siparişler için yaklaşık süreler belirlenmeye çalışılmıştır. Makine üzerinde yapılan gözlemlerden elde edilen veriler üzerinde yapılan analizler ile tahmin modelleri hazırlanmıştır.

Çalışmanın geri kalan bölümleri şu şekilde oluşmaktadır. İkinci bölümde konu ile ilgili literatür özeti verilmiştir ve çalışmanın literatüre ve uygulamaya katkısı tartışılmıştır. Üçüncü bölümde nicel ve nitel tahmin yöntemlerinden bahsedilerek regresyon analizi ile ilgili açıklamalara yer verilmiştir. Dördüncü bölümde üzerinde çalışılan vaka analizi tanıtılmış ve makine sürelerinin tahmin edilmesine yönelik gereksinimler vurgulanmıştır. Beşinci bölümde makine işlem sürelerinin tahmin edilmesinde regresyon analizlerinin uygulanması ile elde edilen sayısal sonuçlar sunulmuştur ve yorumlanmıştır. Çalışmanın son bölümünde genel bir değerlendirme yapılmış, çalışmanın sınırları verilmiş ve gelecek çalışma önerilerinde bulunulmuştur.

2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Tahminleme çalışmaları literatürde geniş bir alanda uygulanmış olup bu konuda yapılmış güncel çalışmalar Tablo 1'de özetlenmiştir.

Tablo 1. Literatürde çeşitli alanlardaki çalışmalar (The studies in various fields in the literature)

Yazar(lar) (Yıl)	Kullanılan tahmin yöntemi*	Çalışma kapsamı
Çuhadar ve Kayacan (2005)	YSA	Türkiye'de konaklama işletmelerinde doluluk oranlarının tahmini
Saplıoğlu ve Çimen (2010)	YSA	ABD'nin Portland bölgesinin günlük yağış miktarının tahmini
Karahan (2015)	ARIMA ve YSA	Malatya ili kuru kayısı ihracat miktarlarının tahmini
Mutlu vd. (2016)	YSA ve monte carlo simülasyonu	Gelecek dönemlere ait finansal oranların (enflasyon, mevduat faiz oranları, fon getirileri) tahmini
Aktaş ve Aydın (2018)	AR ve ARIMA	Talaşlı imalat sektöründe üretim etkinliğinin tahmini
Sarıkaya (2019)	YSA ve regresyon yöntemleri	Bist Ulusal - 100 endeksinin tahmini
Can (2020)	ARIMA ve çoklu doğrusal regresyon	Rüzgâr türbinlerinden üretilen elektrik enerjisi miktarının tahmini
Ordu ve Zengin (2020)	ARIMA, ES ve STL	Türkiye'de hayvansal üretimin tahmini
Özdemir ve Ballı (2020)	Makine öğrenmesi	Türkiye erkekler basketbol ligi maç sonuçlarının tahmini
Kozaklı vd. (2021)	SARIMA	Türkiye'de etlik piliç üretiminin tahmini
Ordu vd. (2021)	ARIMA, ES, SLR ve STL	Bir sağlık organizasyonunda hasta taleplerinin tahmini
Ceyhan ve Kasapbaşı (2022)	Makine öğrenmesi	Bir döküm fabrikasındaki makinede kestirimci bakım uygulaması için arıza zamanı tahmini
Sarı ve Gül (2022)	ARIMA, Holt-Winters ve YSA	İlaç sektöründe bir ürünün talep tahmini
Senocak ve Guner Goren (2022)	SVR	Denizli'de biyokütle tabanlı enerji potansiyelinin tahmini
Kesriklioğlu ve Oktay (2022)	Makine öğrenmesi	Türkiye'de hanehalkı toplam enerji harcamalarının tahmini
Köprü (2022)	Makine öğrenmesi	Bir demir çelik tesisinin sıcak hadde tezgahlarında arıza tahmini

*AR: otoregresif (autoregressive), ARIMA: otoregresif bütünleşik hareketli ortalama (autoregressive integrated moving average), ES: üstel yumuşatma (exponential smoothing), SARIMA: mevsimsel otoregresif bütünleşik hareketli ortalama (seasonal autoregressive integrated moving average), SLR: adimsal doğrusal regresyon (stepwise linear regression), STL: loess kullanarak mevsimsel ve trend ayrıştırma (seasonal and trend decomposition using loess), SVR: destek vektör regresyonu (support vector regression), YSA: yapay sinir ağırları (artificial neural network)

Tablo 1'den görülebileceği üzere tahminleme konulu çalışmalar çeşitli alanlarda uygulanmış ve probleme uygun olabilecek yöntemler kullanılarak sonuçlar araştırılmıştır. Makine işlem sürelerinin tahmin edilmesi için farklı sektörlerde çalışmalar bulunmaktadır ve ilgili çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Özcan (2007) siparişe göre peçete imalatı yapan bir işletmede YSA kullanarak makinelerde işlem sürelerini tahmin etmeye çalışmıştır. Makinelerde yapılan gözlemler ve alanında uzman kişilerle beyin fırtınası ile her makinenin işlem sürelerine etki eden değişkenler (Örneğin; matkap tezgâhı için malzeme cinsi, malzeme boyutları, yüzey hassasiyeti, delik sayısı, çap değişimi, toplam derinlik, yüzey sayısı, karmaşıklık) belirlenmiştir. Belirlenen değişkenler için iş etüdü çalışmaları ile elde edilen veriler YSA'da girdi olarak kullanılmıştır. Uygun ağ yapısının bulunması için deneysel tasarım kullanılmış olup performansının ölçülmesi için hata kareler ortalamasının karekökü (root mean squared error - RMSE), ortalama mutlak yüzde hata (mean absolute percentage error - MAPE) ve hatanın mutlak ortalaması (mean absolute error - MAE) değerleri hesaplanmıştır.

Alenezi vd. (2008) çok kaynaklı ve çok ürünlü sistemlerde gerçek zamanlı üretim süresini tahmin etmek için destek vektör regresyon (support vector regression - SVR) yöntemini kullanmıştır. Çalışmada deneyler üç farklı (küçük, orta ve büyük) çok kaynaklı ve çok ürünlü sistem üzerinde gerçekleştirilmiştir. SVR yöntemiyle elde edilen sonuçlar RMSE ve MAPE performans ölçütleri bakımından üstel düzeltme ve hareketli ortalama gibi zaman serisi modellerinden ve YSA yönteminden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Vaka için SVR yöntemi ile elde edilen sonuçların üç deney için daha iyi olduğunu gösterilmiştir.

Munguía vd. (2009) çalışmasında eklemeli üretim süreçlerinde maliyet değerlendirmesinin büyük oranda üretim süresi tahminine bağlı olduğundan bahsetmiş ve toplam üretim süresinin, parçalar için işçilik, makine maliyetleri ve genel giderler gibi dolaylı maliyetleri etkilediğini vurgulamıştır. Buradan yola çıkarak yazarlar, YSA aracılığıyla eklemeli üretim teknolojilerinden biri olan seçici lazer sinterleme (selective laser sintering) işleminde üretim süresi ve maliyetlerini tahmin etmeye çalışmıştır. Sonuçların, mevcut parametrik ve ampirik zaman tahminleriyle karşılaştırıldığında hata oranı %20-35 bandından %2-15 bandına azaltıldığı görülmüştür.

Bilekdemir (2010) işletmelerin müşteri isteklerini karşılamak için ürünlerin kaliteli, düşük maliyetli ve zamanında teslim edilmesinde siparişin teslim süresinin doğru tahmin edilmesinin önemini vurgulamıştır. Yazar, su sayacı üretim sürecinde veri madenciliği yöntemlerinden karar ağaçlarını kullanarak makinelerin üretim süresini tahmin etmeye çalışmıştır. İşletmedeki 2007-2009 yılları arasındaki veriler girdi olarak kullanılmıştır. Ürünün adı, makine tipi, hangi vardiyada (gece, gündüz) üretildiği ve tezgahdaki bir önceki ürün gibi özellikler karar ağaçlarının oluşturulmasında dikkate alınmıştır. Üretim sürelerinin tahmin edilmesinde Excel, MySQL ve WEKA yazılımları kullanılmıştır.

Vainio vd. (2010), elektronik montaj endüstrisinde üretim çizelgeleme ve montaj hattı dengeleme çalışmalarında işlem sürelerinin tahmin edilmesinin önemini vurgulamıştır. Yazarlar, iki farklı yerleştirme makinesi (Turret ve Gantry) için baskılı devre kartları (PCB) montaj sürelerinin tahmin edilmesinde YSA eğitimi üzerine çalışmıştır. Eğitim sürecinde iki farklı PCB montaj fabrikasındaki gerçek üretim süreleri ve literatürdeki geçmiş çalışmaların veri setleri kullanılmıştır. YSA için montaj olacak bileşen sayısı, farklı bileşen türünün sayısı, PCB'nin yan uzunluğu, farklı bileşen şekillerinin sayısı, bileşen alanının ortalama boyutu, bileşen boyutu varyansı gibi çeşitli girdi değişkenlerinin kombinasyonu altında MATLAB programında Netlab araç kutusu kullanılmıştır. Sonuçların çok değişkenli doğrusal regresyon modelleri ile karşılaştırılmasında; hata kareler ortalaması (mean squared error - MSE), MAE, bağıl hata karesi (RSE) ve bağıl mutlak hata (RAE) gibi ölçütler kullanılmıştır.

Altın (2011) bir döküm ve hammadde işleme firmasında ölçüm yapılamayan ürün gruplarının standart zaman tahmini için YSA yöntemini kullanarak bir yazılım geliştirmiştir. Yazılımda ileri yayımlı öğrenme, dinamik geri yayımlı öğrenme ve moment geri yayımlı öğrenme olmak üzere üç farklı öğrenme algoritması modellenmiştir. Yazılım JAVA ortamında kodlanmıştır. Kesme uzunluğu, kesme hızı, delme uzunluğu, delme hızı, kılavuz uzunluğu, kılavuz hızı, çap uzunluğu, çap hızı ve makine kodu girdi değişkenleri altında CNC tezgahında üretim süresi tahmin edilmeye çalışılmıştır. Çeşitli kombinasyonlar altında çalıştırılan modellerde dinamik geri yayılım ve moment geri yayılım algoritmaları ile sonuç bulunmuştur.

Sütçü (2018) siparişe göre fason üretim yapan bir firmanın kaynaklı imalat operasyon süreleri tahmin etmek için YSA kullanmıştır. Modelde parçaların üretim süresini belirlemek için montaj parça adedi, ağırlık ve ebat girdi değişkenleri kullanılmıştır. 0-30 kg arası, 30-100 kg arası, 100-250 kg arası, 250 ve üzeri olmak üzere 4 grup için bu girdi değişkenleri ile doğrusal tahmin fonksiyonları elde etmiştir. Elde edilen sonuçlar gerçek değerler ile karşılaştırılmıştır. Tahmin değerlerinin hata oranlarını ölçmek için MSE değerleri hesaplanmıştır. Analizler sonucunda gerçek değerlere yakın sonuçlar elde edilmiştir.

Kurnaz (2019), Türkiye'de havacılık ve savunma sanayinde faaliyet gösteren bir firmanın kablo takımı üretim sürelerinin YSA kullanarak tahmin edilmesi üzerine çalışmıştır. Çalışmada kablo takımı üretim süresi üzerine etkisi olabilecek değişkenler kablo iş emri miktarı, kablo modül sayısı, kablo pin sayısı, kablo terminal sayısı, kablo arkalık sayısı, kablo makaron sayısı ve kablo etiket sayısı olarak belirlenmiştir. YSA uygulaması için Knime programından yararlanılmıştır. Elde edilen sonuçlar R^2 , MAE, MSE ve RMSE performansları bakımından çok regresyon modelleri ile karşılaştırılmış ve vaka için YSA'nın daha iyi sonuçlar bulduğu belirlenmiştir.

Işık ve Kapan Ulusoy (2021) metal sektöründe faaliyet gösteren bir işletmede üretim süresine etki eden faktörleri veri madenciliği yöntemleri kapsamında çeşitli sınıflandırma algoritmaları (Random tree, Part, REPTree, OneR, Jrip, LMT, Decision table) ile belirlemiştir. İşlemler WEKA programı aracılığıyla uygulanmıştır. Uygulama sonunda vaka için en iyi sonuçlar random tree algoritması ile elde edilirken parça adı, makine adı, üretim ayı, ortalama sıcaklık, operatör adı, tezgâh boyutu, ürün miktarı üretim süresine etki eden faktörler olarak belirlenmiştir.

Yüce ve Kabak (2021), savunma ve havacılık sektöründe faaliyet gösteren bir firmada 4 temel sürece (talaşlı imalat, sac metal, kalite ve kompozit imalat) ait her süreçte 2'şer iş merkezi olmak üzere toplam 8 iş merkezi için YSA, SVR ve gradyan artırma makinesi (gradient boosting machine - GBM) kullanarak üretim sürelerini tahmin etmeye çalışmıştır. Çalışmada seçilen iş merkezlerine ait 5 yıllık geçmiş veriler kullanılmıştır. İlgili literatür, uzman görüşleri ve korelasyon testleri ile tahmin modellerinde kullanılmak üzere parça no, proje yılı, tecrübe, en, kalınlık, boy, toplam saat, proje kodu gibi girdi değişkenleri ile çalışılmıştır. Modeller çeşitli değişken kombinasyonları altında Python programında çalıştırılmıştır. Modellerin performans değerlendirme ölçütleri R^2 , MSE, MAE ve MAPE kullanılmıştır. Sonuç olarak, iş merkezi için en iyi sonucu veren modeller belirlenmiş olup YSA'nın ortalama %56,02, SVR'nin %84,08 ve GBM'nin %85,31 oranında başarı sağladığı belirlenmiştir.

Literatür incelendiğinde iki aşamalı oluklu mukavva üretim sürecinde makine işlem sürelerinin tahmin edilmesi üzerine çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmanın katkısı üç ana başlıkta toplanmıştır. İlk olarak, literatürdeki çalışmalarda da vurgulandığı gibi üretim sürelerinin tahmin edilmesi ve bu sayede planlanan ve gerçekleşen üretim sürelerindeki sapmaların azaltılması ile üretimdeki planlama ve çizelgeleme faaliyetlerinin etkinliğinin artırılmasına katkı sağlanması planlanmaktadır. İkinci olarak, oluklu mukavva üretim sürecinin mevcut işleyişini

analiz ederek hem oluklu makinesi hem de konfeksiyon makineleri için üretim süresine etki eden parametrelerin belirlenmesidir. Dolayısıyla, bu alanda çalışma yapacak işletmelere/araştırmacılara bir kaynak oluşturulması amaçlanmaktadır. Üçüncü olarak, literatürdeki bazı çalışmalar geçmiş verilerden faydalanarak geleceğe yönelik tahmin çalışmalarını bazıları ise problemdeki girdi değişkenlerinin değerlerine göre uygun modellerle çıktı değerlerinin tahmini çalışmalarını yürütmüştür. Araştırmacılar, çalışılan vakanın durumuna göre zaman serisi modelleri, regresyon analizleri, YSA, makine öğrenmesi vb. çeşitli yöntemler uygulamıştır. Bu çalışmada da oluklu mukavva üretim süreçlerinde makine işlem sürelerinin tahmin edebilecek uygun regresyon modelleri geliştirmek ve bu modellerin kullanılması ile süreçlerin iyileştirilmesine katkıda bulunulması beklenmektedir.

3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Üretimde planlama ve çizelgeleme çalışmaları sırasında makinelerin çalışma sürelerinin tahmin edilmesi büyük önem taşımaktadır. Burada kullanılan yöntemler, nitel ve nicel yöntemler olmak üzere iki kategoriye ayrılmaktadır (Krajewski vd., 2015). Nitel tahmin yöntemleri, elde geçmişe yönelik istatistiksel bilginin olmadığı veya bu bilgilerin yeterli olmadığı durumlarda matematik ve istatistiğe dayanan teknikler dışında kişisel görüşlerin kullanıldığı yöntemlerdir. Bu yöntemler üç başlık altında sınıflandırılmaktadır (Mize vd., 1984; Tanyaş ve Baskak, 2008; Bilici, 2010; Kobu, 2017).

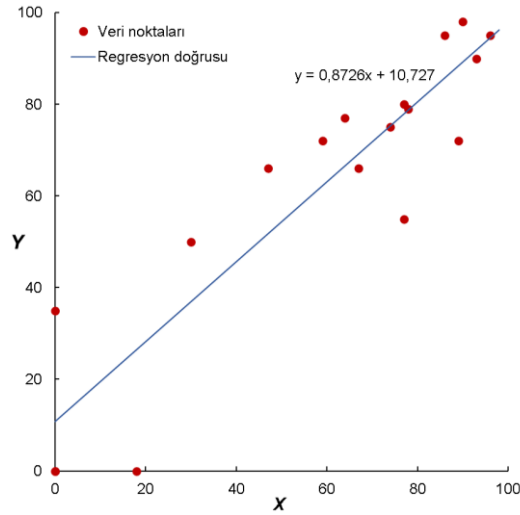
- Yöneticiler grubunun görüşleri
- Kilit personelin fikirleri
- Anketler

Nitel tahmin yöntemleri büyük ölçüde kişisel görüşlere dayalı olduğu için sistematik bir şekilde yukarıdaki yöntemlerden bir ya da birkaçı beraber kullanılabilir (Tanyaş ve Baskak, 2008).

Nicel tahmin yöntemleri, geçmişteki gözlem verilerine dayanarak geleceğe yönelik verilerin tahmin edilmesine dayanmaktadır. Bu kapsamda, yöntemler temelde beş kategori altında toplanabilmektedir (Makridakis vd., 1998; Lim ve McAleer, 2001; Tanyaş ve Baskak, 2008).

- Basit ortalama yöntemi
- Hareketli ortalama yöntemi
- Ağırlıklı hareketli ortalama yöntemi
- Üstel düzeltme yöntemi
- Regresyon analizi

Regresyon analizi, ilk olarak 19.yüzyılın ikinci yarısında Sir F. Galton tarafından aileler ve çocukların boy uzunlukları arasındaki ilişkinin araştırılmasında kullanılmıştır. Günümüzde ise, değişkenler arasındaki istatistiksel ilişkileri açıklayarak gelecekteki bilinmeyen olayların tahmin edilmesinde kullanılmaktadır. Regresyon analizinde, bağımlı değişken ve bağımsız değişken(ler) arasındaki ortalama ilişki matematiksel bir denklem ile ifade edilmektedir. Burada bahsi geçen bağımlı değişken (y) tahmin edilmek istenen değer ve bağımsız değişken (x) ise bağımlı değişkenin değerini tahmin etmek için kullanılmaktadır. Regresyon analizinde bağımsız değişken sayısı bir ya da birden fazla olabilir. Bağımlı değişkenin tahmin edilmesinde, tek bir bağımsız değişken kullanılarak bir model oluşturuluyor ise tek değişkenli regresyon analizi, birden fazla bağımsız değişken kullanılıyorsa çoklu regresyon analizi olarak adlandırılmaktadır. Problemlerde, gerçekleşen değerler kullanılarak Şekil 1'de gösterildiği gibi bir regresyon doğrusu ve denklemi oluşturulur. Yeni gözlemlerin değerleri bu doğru denklemi kullanılarak tahmin edilmektedir (Kutner vd., 2004; Rencher ve Schaalje, 2008; Hamzaoğlu, 2013; Sarıkaya, 2019). Şekil 1'de kırmızı noktalar gerçekleşen değerleri temsil ederken bu değerlerin doğruya olan dik uzaklıkları hataları göstermektedir (Rencher ve Schaalje, 2008).



Şekil 1. Bir örnek için veri noktaları ve regresyon doğrusu (Data points and regression line for an example)

Eşitlik (1)'de bir bağımlı değişken ve bir bağımsız değişken arasındaki ilişkiyi doğrusal olarak açıklamak için kullanılan tek değişkenli doğrusal regresyon modeli gösterilmektedir (Sarıkaya, 2019).

$$y = \alpha + \beta x + \varepsilon_i \quad (1)$$

Burada; y , bağımlı (sonuç) değişkeni; x , bağımsız (sebepl) değişkeni; α , sabit (doğrunun y eksenini kestiği nokta); β , regresyon katsayısı (x 'in kendi birimi cinsinden 1 birim değişimine karşılık y 'de kendi birimi cinsinden meydana gelen değişim miktarı) ve ε , tesadüfi hata terimi veya artık olarak ifade edilmektedir (Sarıkaya, 2019).

Eşitlik (2)'de bir bağımlı değişken ve p tane bağımsız değişken içeren çoklu doğrusal regresyon modeli verilmiştir (Sarıkaya, 2019).

$$y = \alpha + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \dots + \beta_p x_p + \varepsilon_i \quad (2)$$

Burada da benzer şekilde; y , bağımlı (sonuç) değişkeni; x_p : bağımsız (sebepl) değişkeni; α , sabit; β , regresyon katsayısı ve ε , tesadüfi hata terimidir. Genellikle en küçük kareler yöntemi kullanılarak modeldeki artık kareler toplamı minimize edilerek katsayılar tahmin edilmeye çalışılır.

Regresyon analizinde denklemlerin üretilebilmesi için kullanılacak bağımlı değişken(ler)e ait veri setinin normal dağılıma sahip olması gerekmektedir. Verilerin normal dağılıma uygunluğu test etmek için kullanılacak iki farklı test bulunmaktadır: (i) Kolmogorov-Smirnov testi, (ii) Shapiro-Wilk testi. Bu testlerde kullanılan hipotezler Eşitlik (3)'de verilmiştir.

$$\begin{aligned} H_0 &= \text{Veriler normal dağılıma uygundur.} \\ H_1 &= \text{Veriler normal dağılıma uygun değildir.} \end{aligned} \quad (3)$$

%95 güven seviyesi literatürde yaygın olarak kullanılmaktadır ve bu seviyede hesaplanan anlamlılık değerinin 0,05'ten büyük olması durumunda H_0 hipotezi kabul edilmektedir yani kullanılan veri setinin normal dağılıma uygun olduğu söylenebilmektedir. Literatürde genelde regresyon analizi için kullanılan veri setindeki veri sayısının 30'dan fazla olması durumunda verilerin normal dağılıma sahip olduğu varsayılır (Mendes vd., 2005).

Tahmin amaçlı oluşturulacak modellerin kurulması sırasında değişkenler arasındaki ilişkinin orta ya da yüksek derecede olması durumunda bağımsız değişkenlerden bir tanesinin modelde kullanımı yeterli olmaktadır. Değişkenler arasındaki ilişkinin düzeyini ve yönünü belirlemek için kullanılan yöntemlerden biri korelasyon analizidir. Bu analiz, iki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkinin yönünü ve büyüklüğünü sayısal olarak değerlendirmek amacıyla gerçekleştirilir. Korelasyon katsayısı olan r değeri -1 ile +1 arasında değişmektedir. r değeri 0'dan uzaklaştıkça ilişkinin büyüklüğünün arttığı ve işaretin negatif (-) olması durumunda değişkenlerden biri artarken diğerinin azaldığı söylenmektedir (Hair vd., 2013). Tablo 2, r korelasyon katsayısının aralıklarını göstermektedir.

Tablo 2. Korelasyon katsayısı aralıkları (The scale of correlation coefficient) (Hair vd., 2013)

İlişki düzeyi	Korelasyon aralığı
Kuvvetli (-)	$-1 \leq r < -0,9$
Orta (-)	$-0,9 \leq r < -0,5$
Zayıf (-)	$-0,5 \leq r < 0$
Zayıf (+)	$0 \leq r < 0,5$
Orta (+)	$0,5 \leq r < 0,9$
Kuvvetli (+)	$0,9 \leq r < 1$

Kurulan regresyon modelleri ile oluşan denklemler kullanılarak bulunan tahmini değerler, gerçek değerlerle karşılaştırılmıştır ve sapma oranları tespit edilmiştir. Hata hesaplamaları için literatürde kullanılan *MAPE*, *MAE*, *RMSE*, *MSE*, *RAE*, *RSE* gibi farklı göstergeler vardır. Bu göstergeler araştırılarak literatürde en çok kullanılan ve probleme en uygun olan gösterge tespit edilmeye çalışılmıştır. Tahmin verilerinin gerçekleşen verilerden sapma oranlarını bulmak için *MAPE* kullanılmıştır. *MAPE* değeri Eşitlik (4)'te verildiği gibi hesaplanmaktadır (Gönültaş vd., 2020; Güler ve Kandemir, 2022):

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{A_t - F_t}{A_t} \right| \%100 \quad (4)$$

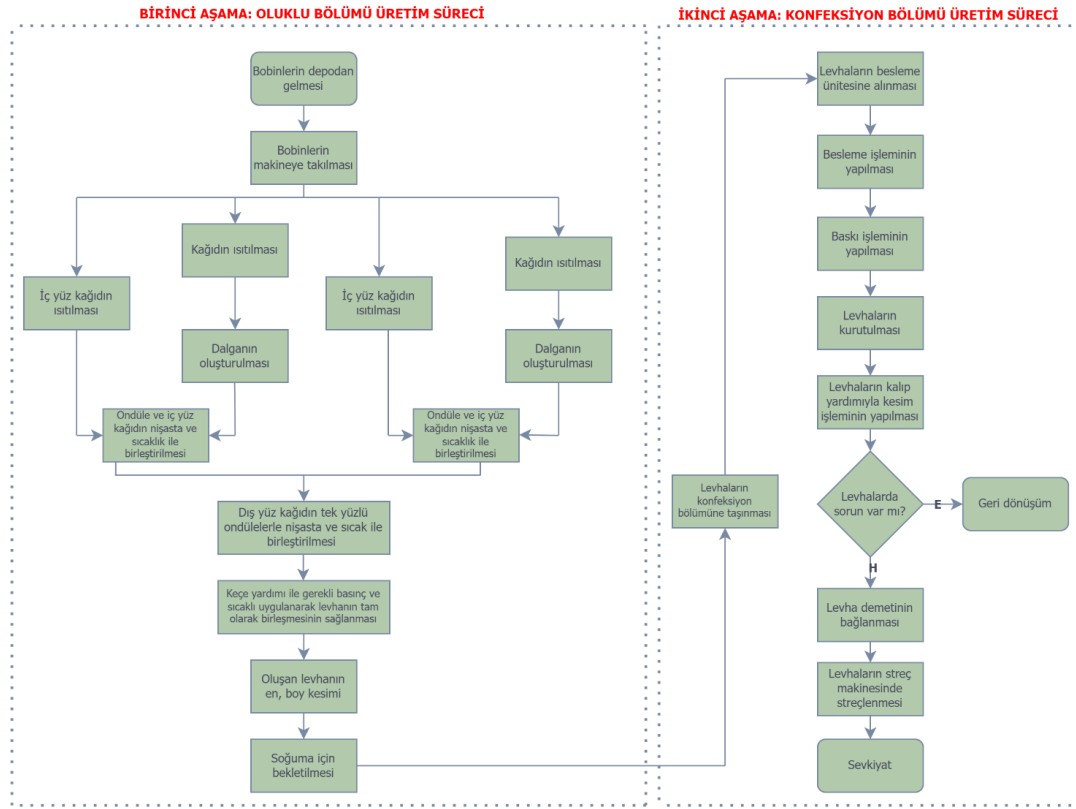
Burada; A_t , gerçek değerleri; F_t , tahmin edilen değerleri ve n , nokta sayısını temsil etmektedir. Literatürde, hesaplanan *MAPE* değerlerinin %10'un ($MAPE < \%10$) altında olması durumunda modeller yüksek doğruluk derecesine sahip ve *MAPE* değeri %10 ile %20 arasında ($\%10 < MAPE < \%20$) olanlar ise doğru modeller olarak belirtilmektedir (Gönültaş vd., 2020; Güler ve Kandemir, 2022).

4. Vaka Çalışması (Case Study)

4.1. Problemin Tanımı (Problem Definition)

Oluklu mukavva; gıda, tekstil, mobilya, kimya, matbaa, elektrik, ilaç vb. çok çeşitli sektörde taşıma, saklama ve koruma için kullanılan kutu ve kasa gibi ambalajların üretiminde yer almaktadır. Oluklu mukavva; iç ve dış yüzeyi düz kağıtla kaplı olacak şekilde iç kısmında bir ondüleden (dalgalı, kıvrımlı karton) (tek dalga) veya aralarında düz kâğıt bulunan iki ondüleden (çift dalga) meydana gelmektedir (Üçüncü, 2011; Deniz, 2012).

Bu çalışmanın yürütüldüğü işletmede oluklu mukavva üretim süreci iki aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada karton kutuların üretilmesi için hammadde olarak kullanılan kâğıt bobinler oluklu makinesine yerleştirilir. Oluklu makinesinde, iç ve dış yüz kağıtları ile oluk haline gelmiş bir ya da daha fazla ondüle nişasta kullanarak bir araya getirilmektedir. Meydana gelen oluklu mukavvalar yüksek ısı ve presleme işlemine tabi tutularak tüm yüzeylerde yapışma sağlanmaktadır. Böylece, ürüne sertlik ve sağlamlık kazandırılması amaçlanmaktadır. Sağlam yapısına rağmen, oluklu mukavvalar herhangi bir yönden kolaylıkla kıvrılabilen ve kesilebilmektedir. Sonraki aşamada ürünler istenen ölçüde enden boydan kesilerek istiflenmektedir (Üçüncü, 2011; Deniz, 2012). İkinci aşamada yani konfeksiyon bölümünde oluklu makinesinden çıkan yarı mamuller (levhalar) kesme, baskılama, yapıştırma işlemleri görür. Bu iki aşamalı üretim sürecinde bobin olarak gelen kağıtlar ambalaj kutusu haline getirilmektedir. İşletmede gerçekleştirilen oluklu mukavva üretim süreci Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. İşletmenin üretim iş akış şeması (Production process flowchart of the company)

Satış departmanına siparişler geldikten sonra ilgili siparişin termin süresi planlama bölümü ile belirlenmektedir. Gelen siparişler için üretime en uygun makineler seçilmekte ve sipariş sisteme kaydedilmektedir. Planlama bölümü ilk olarak gelen iki günlük siparişler için bir kombine havuzu oluşturmaktadır. Bu kombineler oluşturulurken oluklu makinesinde çalışacak ürünlerin, kâğıt bobininin enine göre en az fireyle kaç adet yan yana üretilmesi gerektiği hesaplanmaktadır. İşletmede hali hazırda kullanılan bobin enleri 185, 200, 215, 230, 245 cm'dir. İşletmede her bobin eninden kombine sonucu oluşan fireye trim denilmektedir. İstenilen trim değerleri 3-8 cm arasındadır. Kombine işlemi için bir örnek aşağıda verilmiştir. Oluklu makinesi için levha eni 105 cm olan bir ürün olduğunu varsayarsak bu ürün en az fireyle 215 cm enindeki bobin için yan yana iki adet çalıştırılabilir. Bu durumda trim değeri 5 cm olacaktır ($105 \times 2 = 210$ cm, $215 - 210 = 5$ cm). Aynı kalite özelliklerine sahip (kâğıt kalitesi, dalga boyu, sertlik vb.) fakat farklı levha boyutlarına sahip ürünler de aynı anda aynı bobinle çalıştırılabilmektedir.

Oluklu makinesinde üretim sırası için planlama yapılırken yaklaşık 1 gün 10 saati dolduracak (220 km) ve konfeksiyon makinelerine göre 24 saat önceden gidecek bir plan yapılmaya çalışılmaktadır. Sıralama aşamasında ise bobin enlerinin küçükten büyüğe çalışması, ilk vardiyada tek dalga türleri, ikinci vardiyada sertleştirici ürünler ve son vardiyada çift dalga türlerinin çalışması, aynı dalga türlerinin arka arkaya çalışması gibi kısıtlarla işlem gerçekleştirilmektedir. Böylece oluklu makinesindeki duruşlar minimize edilmeye çalışılmaktadır. Konfeksiyon bölümünün planlaması yapılırken ise her gün yaklaşık 20 saatlik bir iş yüklenmektedir. Bu planlama yapılırken baskı ve kalıp çeşidi, renk ve bıçak türleri gibi özellikler arka arkaya getirilerek bir kombinasyon oluşturulmakta ve böylece hazırlık süreleri azaltılmaya çalışılmaktadır.

Oluklu planlamasına göre siparişler için bobinler hazırlanmakta ve oluklu makinesine bağlanmaktadır. İnceden kalına doğru E, B, C dalgaları (mukavvalar arası oluklar) ve çift BE, CB dalgaları için üretim sırasıyla yapılmaktadır. İki aşamalı çalışan makinede bir sipariş çalışırken diğerinin hazırlık (setup) işlemi yapılabilir. Böylece hazırlık işlemleri için makinelerin durmaması sağlanabilir. Oluklu makinesinde günlük ufak duruşlar dışında pazar günleri 8 saatlik bir bakım yapılmaktadır. Ayrıca aynı özellikte iki farklı sipariş aynı anda çalışabilir. Planlama işlemi yapılırken termin sürelerine bağlı olarak üretimi yapılacak siparişler belirlenmektedir. Kombine havuzları fireleri en aza indirecek şekilde manuel olarak gerçekleştirilir. Kombinelerin belirlenmesinde fireleri aza indirmenin yanında farklı kısıtlar da bulunmaktadır.

Oluklu üretiminde levhalar en uzunluklarına göre çoklu partiler olarak üretilebilirler. Levhalar tek tek dalga genişliğine göre belirlenen sayıda yaklaşık 180 cm olacak şekilde üst üste dizilmektedir. Her dalğanın uzunluğuna göre belirlenen adette partiler tamamlandıktan sonra konveyörde sehpa kartlarına koyularak paletlere

yerleştirilmektedir. Forkliftlerle ilgili konfeksiyon makinesine taşınan paletler belirlenen soğuma süreleri kadar bekletilmelidir. Bu süre dalga türü ve sertleştirici içermesine göre 3 ile 16 saat arasında değişmektedir.

Konfeksiyon makinesinde sırası gelen sipariş için gerekli hazırlıklar yapılmaktadır. Bu sırada ürünler makinenin önüne getirilmektedir. Gerekli kalite kontroller hazırlık aşamasında yaklaşık 15 dakika süren bir işlemle gerçekleşmektedir. Adet/saat cinsinden çalışılan makinelerde üretimler tamamlanıp konveyörlerle ambalaj bölümüne ilerletilmekte ve daha sonra ambalaj işlemi yapılarak ambara ya da sevkiyat noktasına götürülmektedir.

4.2. Veri Toplama ve Analizi (Data Collection and Analysis)

Yukarıda verilen bilgiler ışığında, zor ve karmaşık bir işlem olan planlama aşamasında üretimde işlemlerin gerçekleştirilme sürelerinin sapma olmadan ve doğru bir şekilde tahmin edilmesi oldukça önemlidir. Makinelerin işlem yapabileceği maksimum hızları bilinmektedir fakat bu hızları etkileyebilecek birçok faktör bulunmaktadır. İşletmede çalışan uzmanlarla yapılan görüşmeler sonucunda, birinci aşamada kâğıt kalitesi (gramaj, özellik vb.), sertleştirici kullanıma durumu, dalga çeşidi, sipariş uzunluğu, levha boyu, bobin büyüklüğü gibi faktörler oluklu makinesinin hızını etkileyen temel faktörler iken ikinci aşamada oluklu makinesini etkileyen faktörlerin yanı sıra konfeksiyon makinelerinde baskı çeşitleri (trigonometrik, parlak, patates baskı vb.), kesme detayları, kalıp durumu (kalıp var ya da yok), kuşe, levha adedi gibi makinenin hızını etkileyen faktörler olarak belirlenmiştir.

Görülebileceği üzere, mevcut oluklu makinasının üretim süresini etkileyebilecek farklı değişkenler bulunmaktadır. Regresyon modellerinde, bağımlı değişken ile bağımsız değişkenler arasında doğrusal bir ilişki olduğu göz önüne alındığında bağımsız değişkenler arasında çoklu doğrusal bağlantının olup olmadığını test etmek için korelasyon analizleri yapılmıştır. Bu analizlerde, çoklu bağlantı probleminin olmaması için bağımsız değişkenlerin korelasyon katsayısının genellikle 0,8'den küçük olması istenmektedir ve böyle durumlarda çoklu bağlantının olmadığına karar verilebilmektedir (Aydın, 2020). Buradan yola çıkarak hem uzman görüşleri hem de yapılan korelasyon analizleri sonucunda çoklu bağlantı probleminin ortaya çıkmaması için korelasyon katsayısı 0,80'in altında olan bağımsız değişkenler regresyon modellerinde kullanılmıştır.

Oluklu bölümünde, siparişlerin makinada üretim süreleri bilinmemektedir ve korelasyon analizlerine göre üretim süresini etkileyen dalga cinsi (B, BE, C, CB, E), kâğıt türü ($K1, K2, K3, K4, K5$), bobin büyüklüğü ve çalışılan metre gibi birçok faktör mevcuttur. Bu kısıtlar kullanılarak bir regresyon analizi yapılmış ve tahmin yapmak için bir uygun denklem bulunmuştur. Konfeksiyon bölümü için yapılan çalışmada ise veriler filtrelenmiş ve farklı analizler bir bağımsız değişken kullanılarak yapılmıştır. Konfeksiyon bölümünde farklı özellikteki makineler için ayrı ayrı regresyon analizi yapılmıştır. Regresyon analizi yardımıyla ürünlerin makinede işlem sürelerini tahmin etmeye yönelik uygun denklemler oluşturulmuştur. Regresyon analizi yapılırken IBM SPSS Statistics 22 programından yararlanılmış olup Enter yöntemi kullanılmıştır.

Bu amaçla 2018-2019 yılları arasında üretimi gerçekleştirilen oluklu hattı için yaklaşık 18.750 adet ve konfeksiyon makineleri için yaklaşık 15.000 adet veri ile yapılan istatistiksel analiz ve modelleme çalışmalarına doğrultusunda yeni bir siparişin üretileceği süre tahmini olarak elde edilmesi hedeflenmiştir. Oluklu ve konfeksiyon bölümleri için yapılan çalışmalar aşağıda sunulmuş ve yorumlanmıştır. Bu analizlere bağlı olarak tahmin yapmak için kullanılacak uygun denklemler belirlenmiş ve örnek olarak bazı siparişler için süre tahminleri yapılmıştır.

5. Sayısal Sonuçlar (Numerical Results)

İşletmenin geçmiş üretim raporları incelendiğinde, 2018-2019 yılları arasındaki 1 yıllık veri için işletmede çalışan uzmanların deneyimlerine göre yaptıkları tahminler ile gerçekleşen üretim süreleri arasındaki yıllık sapmaların Eşitlik (4)'de verilen formüle göre MAPE (%) değerleri hesaplanmış ve Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Mevcut durumda MAPE (%) değerleri (MAPE (%) values for the current situation)	
Oluklu makinesindeki yıllık sapma - MAPE (%)	Konfeksiyon bölümündeki yıllık sapma - MAPE (%)
%22,333	%38,167

Tablo 3'ten görüleceği gibi tahmin edilen sürelerdeki sapmalar planlama ve çizelgeleme faaliyetlerinin doğru yapılmasında önemli derecede negatif etki yaratmaktadır. Burada yapılan regresyon analizi çalışması ile tahmini sürelerdeki sapmaların indirgenmesi amaçlanmaktadır.

Daha önce de bahsedildiği gibi 5 çeşit dalga tipi bulunmaktadır. Bunlar arasındaki geçişler ise genellikle toplu olarak ve bir akış içerisinde gerçekleştirilmek istenmektedir. Örneğin günlük siparişteki bütün normal B dalgaları işledikten sonra C dalgalarına geçmek ya da çift dalgalara geçmek gibi bir akış olmalıdır. Bunun nedeni ise sürekli karışık dalga tipleri işlendiğinde ikili olarak çalışan ve oluk oluşturmaya yarayan valsler çok daha fazla kapatılıp

açılacağı için büyük bir enerji maliyetine neden olacaktır. Bunun yanı sıra dalga tiplerinin her seferinde değiştirilmesi makinenin sıfır hızdan başlayarak yeniden ivmelenmesine neden olacaktır ve bu da günlük ürün işleme kapasitesini düşürecektir. Bunların dışında bobin enlerinin ve kâğıt kalitelerinin de dalga cinsleri belirlendikten sonra sabitlenerek toplu bir şekilde işlenmesi daha az hazırlık süreleriyle daha az ivme kaybına neden olmaktadır. Son olarak ise sertleştirici bulunan ürünlerin bir tank içerisinde saniyelik formüllerle günde bir kere hazırlanabilmesi de gün içerisinde işlenmesi gereken bütün sert siparişlerin tek bir partide çıkarılması sorununu ortaya çıkartmaktadır.

Oluklu makinesinden çıkan levhalar konfeksiyon bölümünde farklı özellikteki makinalarda, levha için uygun olan makine seçimi yapılarak işlenmektedir. Levhaların işleneceği makinelerin belirlenebilmesi için konfeksiyon bölümünde bulunan makinaların özellikleri doğrultusunda atama çalışması yapılmaktadır. Siparişlerin dalga cinsi, siparişin en ve boy uzunluğu, kutu tipleri, baskı olup olmaması ve varsa baskının çeşidi, baskı renk sayısı, kalıp kullanma durumu, kuşeli olup olmaması gibi özellikler değerlendirilerek siparişin çalışılabileceği konfeksiyon makinası belirlenmektedir. Her sipariş için üretimin uygun olabileceği birden fazla makine bulunmaktadır. Her sipariş için optimum makinenin belirlenmesi ve bunun yanında en kısa sürede siparişleri üretebilecek bir atama yapılması gerekmektedir.

Makine atamasında ve üretim planlama ve çizelgeleme faaliyetlerinin belirlenmesinde zaman, her işletmede olduğu gibi en önemli etmenlerden biridir. İşletme sipariş üzerine üretim yapmakta ve müşterilere en iyi hizmeti verebilmek amacıyla gelen siparişlere en iyi şekilde uyum sağlanarak istenilen zamanda istenilen kalitede ürünlerin üretilmesi gerekmektedir. Sipariş özellikleri analiz edildikten sonra en kısa sürede üretiminin gerçekleştirilebileceği makineyi tespit edebilmek işletmenin devamlılığı ve üretimin verimliliği açısından önemlidir. Ürünlerin işleneceği uygun makineyi tüm ürünleri değerlendirerek en kısa sürede üretecek planı ve çizelgeyi oluşturmak gerekmektedir.

Oluklu makinesi için üretim süresini etkileyecek en önemli kısıtlar; kâğıt cinsi, bobin büyüklüğü, dalga cinsi ve çalışılan metre olarak tespit edilmiştir. Bu kısıtlar kullanılarak bir regresyon analizi yapılmış ve tahmin yapmak için uygun bir doğru denklemi tespit edilmiştir. Bahsedildiği üzere, oluklu hattı için yaklaşık 18.750 adet geçmiş veriyle çalışılmıştır ve merkezi limit teoremine göre veri sayısı 30'dan fazla olduğu için ilgili veri setinin normal dağılım gösterdiği varsayılmıştır (Yaşarsoy ve Oktay, 2020; Yılmaz, 2020). Oluklu makinesine ait regresyon modeli özeti Tablo 4'te ve regresyon analizi katsayıları ve anlamlılıkları Tablo 5'te özet olarak verilmiştir.

Tablo 4. Oluklu makinesine ait regresyon modeli özeti (Regression model summary for the corrugating machine)

Model	R	R ²	Düzeltilmiş R ²	Tahminlerin standart hatası	İstatistiksel değişkenler				
					R ²	F	Serbestlik derecesi 1	Serbestlik derecesi 2	P
1	0,967 ^a	0,934	0,934	0,04880082	0,934	33451,74	8	18760	0

a: Prediktörler (sabit): Çalışılan metre, Dalga Cinsi, Bobin, K1, K2, K3, K4, K5

Tablo 4'te görülebileceği üzere analiz sonucu hesaplanan P anlamlılık değerinin 0,05'ten küçük olması kurulan regresyon modelinin uygun olduğunu ifade etmektedir. Regresyon analizlerinde yaygın olarak kullanılan R² değeri (0,934) dikkate alındığında, bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkendeki değişimin %93,4'ünü açıklayabildiği görülmektedir. Buradaki %93,4 değeri modelin tahmin gücünü göstermektedir.

Tablo 5. Oluklu makinesine ait regresyon analizi katsayıları ve anlamlılıkları (Regression analysis coefficients and their significance for the corrugating machine)

Model		Standardize edilmemiş katsayılar ^a		Standardize edilmiş katsayılar ^a	t	Anlamlılık ^b	B için %95,0 güven aralığı		Gizlilik istatistikleri	
		B	Standart hata	β			Alt sınır	Üst sınır	Tolerans	VIF
1	Sabit	-0,034773	0,005		-6,507	0	-0,045	-0,024	-0,035	0,005
	K1	-0,000248	0	-0,016	-6,928	0	0	0	0,00025	0
	K2	0,00352	0	0,183	15,028	0	0,003	0,004	0,00352	0
	K3	-0,000298	0	-0,016	-5,911	0	0	0	-0,0003	0
	K4	-0,000248	0	-0,044	-3,741	0	-0,001	0	-0,0003	0
	K5	0,00023	0	0,010	4,064	0	0	0	0,00023	0
	Bobin	0,000005	0	0,005	2,438	0,015	0	0	0,00005	0
	Dalga cinsi	-0,000314	0	-0,009	-4,873	0	0	0	-0,0003	0
	Çalışılan metre	0,000098	0	0,926	471,221	0	0	0	0,00009	0

a: Bağımlı değişken: Sure, b: Prediktörler (sabit): Çalışılan metre, Dalga Cinsi, Bobin, K1, K2, K3, K4, K5

Tablo 5'ten görülebileceği üzere, sabit terimin katsayısı -0,034773 olarak hesaplanmış ve p değeri 0 olarak belirtilmiştir. Bu durumda sabit terim anlamlıdır. Kullanılan değişkenler için, birinci kâğıt (K1) değişkeninin regresyon modeli katsayısı -0,000248 olarak, ikinci kâğıt (K2) değişkeninin regresyon modeli katsayısı 0,00352

olarak, üçüncü kağıt ($K3$) değişkeninin regresyon modeli katsayısı $-0,000298$ olarak, dördüncü kağıt ($K4$) değişkeninin regresyon modeli katsayısı $-0,000248$ olarak, beşinci kağıt ($K5$) değişkeninin regresyon modeli katsayısı $0,00023$ olarak, bobin değişkeninin ($Bobin$) regresyon modeli katsayısı $0,000005$ olarak, dalga cinsi ($DalgaCinsi$) değişkeninin regresyon modeli katsayısı $-0,000314$ olarak, çalışılan metre ($CalMetre$) değişkeninin regresyon modeli katsayısı $0,000098$ olarak belirlenmiştir. Buradaki her değişkenin p değeri $0,05$ 'ten küçük olduğu için %5 anlamlılık derecesinde anlamlı olduğu söylenebilir. Regresyon analizi sonucuna bağlı olarak bulunan denklem Eşitlik (5)'te verilmiştir.

$$\begin{aligned} Sure = & (-0,034773) + K1 \times (-0,000248) + K2 \times (0,00352) + K3 \times (-0,000298) \\ & + K4 \times (-0,000248) + K5 \times (0,00023) + Bobin \times (0,000005) \\ & + DalgaCinsi \times (-0,000314) + CalMetre \times (0,000098) \end{aligned} \quad (5)$$

Konfeksiyon bölümünde farklı özellikteki makineler için ayrı ayrı regresyon analizi yapılmıştır. Regresyon analizi yardımıyla ürünlerin makinede işleme sürelerini tahmin etmeye yönelik doğru denklemleri oluşturulmuştur. Konfeksiyon bölümünde, veri sayısı 30'dan az olan tüm analizler için Kolmogorov-Smirnov testi ve Shapiro-Wilk testi uygulanarak ilgili veri setlerinin normal dağılıma uygun olduğu belirlenmiştir. Veri sayısı 30'dan fazla olan veri setlerinin ise oluklu hattında olduğu gibi normal dağılıma uygun olduğu varsayılmıştır. Konfeksiyon bölümü makineleri için her makinede kuşeli, kuşesiz ve dalga çeşitlerine bağlı olarak farklı analizler yapılmıştır. Örneğin; konfeksiyon bölümünde bulunan 2002 makinesinde üretilen kuşeli, E dalga cinsine ait regresyon modeli özeti Tablo 6'da, regresyon analizi katsayıları ve anlamlılıkları Tablo 7'de ve normallik testi sonuçları ise Tablo 8'de özet olarak verilmiştir.

Tablo 6. 2002 makinesi için kuşeli, e dalga cinsine ait regresyon modeli özeti (Regression model summary of the coated, e wave type for the 2002 machine)

Model	R	R ²	Düzeltilmiş R ²	Tahminlerin standart hatası	İstatistiksel değişkenler				
					R ²	F	Serbestlik derecesi 1	Serbestlik derecesi 2	P
1	0,957 ^a	0,917	0,913	38,863	0,917	220,070	1	20	0

a: Prediktörler (sabit): *Levha Adet*

Tablo 6'dan görülebileceği üzere; analiz sonucu hesaplanan P anlamlılık değerinin $0,05$ 'ten küçük olması kurulan regresyon modelinin uygun olduğunu ifade etmektedir. R^2 değeri ($0,917$) dikkate alındığında, bağımsız değişkenin bağımlı değişkendeki değişimin %91,7'sini açıklayabildiği görülmektedir.

Tablo 7. 2002 makinesi için kuşeli, e dalga cinsine ait regresyon analizi katsayıları ve anlamlılıkları (Regression analysis coefficients and their significance of the coated, e wave type for the 2002 machine)

Model		Standardize edilmemiş katsayılar		Standardize edilmiş katsayılar	t	Anlamlılık	B için %95,0 güven aralığı		Gizlilik istatistikleri	
		B	Standart hata	β			Alt sınır	Üst sınır	Tolerans	VIF
		1	Sabit	52,874			15,182	3,483	0,002	21,21
	Levha Adet	0,013	0,001	0,957	14,835	0	0,011	0,015	1	1

a: Bağımlı değişken: *Sure*, b: Prediktörler (sabit): *Levha Adet*

Tablo 7'deki sonuçlara göre; sabit terimin katsayısı ($52,874$) olarak hesaplanmış ve anlamlılık değeri $0,002$ olarak belirtilmiştir. Bu durumda sabit terim anlamlıdır. *Levha adedi* değişkeninin (*LevhaAdet*) regresyon modeli katsayısı $0,013$ olarak ve anlamlılık derecesi 0 olarak hesaplanmıştır. $0,05$ 'ten küçük olduğu için anlamlı bir sonuçtur. Tablo 7'deki sonuçlara göre, 2002 makinesinin kuşeli E dalga bir ürünü üretme süresi levha adedine bağlı olarak oluşturulan doğrusal denklem Eşitlik (6)'da verilmiştir.

$$Sure = 0,012877 \times LevhaAdet + 52,874169 \quad (6)$$

Tablo 8. 2002 makinesi için kuşeli, e dalga cinsine ait normallik testi (Normality test of the coated, e wave type for the 2002 machine)

Değişken	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	İstatistik	Serbestlik derecesi	Anlamlılık	İstatistik	Serbestlik derecesi	Anlamlılık
Levha adet	0,127	22	0,200*	0,941	22	0,205
Süre	0,109	22	0,200*	0,968	22	0,654

a. Lilliefors Anlamlılık düzeltmesi

Tablo 8'de 2002 makinesi kuşeli E dalga üretim sürelerini tahmin etmek amacı ile kullanılan veri setine ait normallik testi verilmiştir. Tablodan görüleceği üzere Kolmogorov-Smirnov ve Shapiro-Wilk testlerinin anlamlılık değerleri (*Sure*) ve (*LevhaAdet*) değişkenleri için $0,05$ 'ten büyük olarak bulunduğu için H_0 hipotezi kabul edilir

yani %95 güvenle veriler normal dağılıma uygundur denilebilir. Tablo 6, Tablo 7 ve Tablo 8'deki analizlere benzer olarak, daha önceden çalışılmış olan siparişlerin verileri kullanılarak konfeksiyon bölümündeki her makinenin yeni bir siparişte harcayabileceği sürelerin tahmin edilebilmesi için denklemler oluşturulmuş, regresyon modeli özet tabloları, regresyon katsayıları ve anlamlılıkları, uygulandıysa normallik testi sonuçları kontrol edilmiştir.

Hem oluklu hattı hem de konfeksiyon bölümündeki makineler için oluşturulan denklemler yeni bir sipariş geldiğinde üretim sürelerini tahmin etmek ve çözümlenmede kullanılmak üzere kaydedilmiştir. Değişkenler arasında nümerik olmayan değerler bulunduğundan (Örn. Dalga cinsi: B, BE, C, CB, E; Kâğıt türü: BT120, BK130, BT135, KBT140, NP160, NP180, NP225, F080, F085, vb.), bu değişkenlerin regresyon analizi ile belirlenen katsayı değerleri ile tahmin değerleri oluşturmak zor olmaktadır. SPSS programı bu değerleri kendi içinde uyguladığı katsayılar ile çözmeye yönelik bir analiz sistemine sahiptir. Konfeksiyon bölümü makineleri için her makinede kuşeli, kuşesiz ve dalga çeşitlerine bağlı olarak farklı analizler yapılmıştır. Böylece nümerik olmayan değerler ortadan kaldırılarak tahmin değerleri bulunabilecektir. Bütün makineler için yapılmış olan analizler sonucu elde edilen denklemler, kullanılan veri sayıları ve R^2 değerleri Tablo 9'da verilmiştir.

Tablo 9. Analiz sonuçları (Analysis results)

OLUKLU MAKİNESİ						R^2
$y = (-0,034773) + K1 \times (-0,000248) + K2 \times (0,00352) + K3 \times (-0,000298) + K4 \times (-0,000248)$						0,934
$+ K5 \times (0,00023) + \text{Bobin} \times (0,000005) + \text{DalgaCinsi} \times (-0,000314) + \text{CalMetre} \times (0,000098)$						
KONFEKSİYON BÖLÜMÜ						R^2
Makine	Kuşe	Dalga cinsi	Veri sayısı	Doğru denklemi		
2002	Kuşeli	E	22	$y = 0,012877 \times \text{LevhaAdet} + 52,874169$	0,917	
		B	20	$y = 0,005358 \times \text{LevhaAdet} + 76,785521$	0,544	
		C	43	$y = 0,012191 \times \text{LevhaAdet} + 39,770330$	0,722	
		BE	67	$y = 0,010617 \times \text{LevhaAdet} + 20,297456$	0,839	
		BC	53	$y = 0,010146 \times \text{LevhaAdet} + 50,385428$	0,349	
	Kuşesiz	B	66	$y = 0,009 \times \text{LevhaAdet} + 21,713$	0,800	
		C	141	$y = 0,007 \times \text{LevhaAdet} + 24,123$	0,755	
		BE	162	$y = 0,011 \times \text{LevhaAdet} + 20,297$	0,814	
		BC	244	$y = 0,012 \times \text{LevhaAdet} + 16,456$	0,750	
		2005 (JUMBO)	Kuşesiz	C	42	$y = 0,015005 \times \text{LevhaAdet} + 53,221254$
BC	1624			$y = 0,013381 \times \text{LevhaAdet} + 37,041045$	0,660	
2008 (DBP)	Kuşesiz	B	42	$y = 0,012672 \times \text{LevhaAdet} + 20,411931$	0,691	
		BC	10	$y = 0,019566 \times \text{LevhaAdet} + 68,884523$	0,578	
2009 (CXF1)	Kuşesiz	B	355	$y = 0,007238 \times \text{LevhaAdet} + 25,349973$	0,746	
		C	148	$y = 0,009183 \times \text{LevhaAdet} + 30,270137$	0,541	
		BE	12	$y = 0,007797 \times \text{LevhaAdet} + 48,419145$	0,871	
		BC	152	$y = 0,009720 \times \text{LevhaAdet} + 32,792372$	0,475	
2013 (WARD BASKI)	Kuşesiz	B	2191	$y = 0,0009806 \times \text{LevhaAdet} + 16,382354$	0,531	
		C	395	$y = 0,010661 \times \text{LevhaAdet} + 30,462440$	0,226	
		BE	162	$y = 0,013867 \times \text{LevhaAdet} + 18,561387$	0,267	
		BC	912	$y = 0,014314 \times \text{LevhaAdet} + 23,251766$	0,257	
2014 (WARD IN-LINE)	Kuşesiz	B	204	$y = 0,0009806 \times \text{LevhaAdet} + 16,382354$	0,847	
		C	614	$y = 0,008435 \times \text{LevhaAdet} + 18,390354$	0,760	
		BE	20	$y = 0,008054 \times \text{LevhaAdet} + 24,54632$	0,711	
		BC	403	$y = 0,010486 \times \text{LevhaAdet} + 14,236845$	0,871	
2015 (MARTIN 1628)	Kuşeli	E	34	$y = 0,011716 \times \text{LevhaAdet} + 40,366865$	0,678	
		B	35	$y = 0,017698 \times \text{LevhaAdet} + 35,962793$	0,857	
		C	56	$y = 0,008153 \times \text{LevhaAdet} + 44,143813$	0,378	
		BE	119	$y = 0,01892 \times \text{LevhaAdet} + 16,930223$	0,862	
		BC	957	$y = 0,01773 \times \text{LevhaAdet} + 21,61523$	0,783	
	Kuşesiz	E	104	$y = 0,009622 \times \text{LevhaAdet} + 31,392313$	0,917	
		B	575	$y = 0,011902 \times \text{LevhaAdet} + 28,442811$	0,331	
		C	167	$y = 0,009265 \times \text{LevhaAdet} + 33,154298$	0,520	
		BE	106	$y = 0,010163 \times \text{LevhaAdet} + 26,596144$	0,907	
		BC	508	$y = 0,017730 \times \text{LevhaAdet} + 21,615230$	0,105	
2016 (LMC P1200)	Kuşesiz	B	310	$y = 0,010913 \times \text{LevhaAdet} + 16,262783$	0,800	
		C	589	$y = 0,007691 \times \text{LevhaAdet} + 23,512662$	0,612	
		BE	31	$y = 0,021039 \times \text{LevhaAdet} - 1,178590$	0,837	
		BC	1867	$y = 0,013675 \times \text{LevhaAdet} + 21,667437$	0,583	
2017 (P1600-A)	Kuşesiz	E	175	$y = 0,012199 \times \text{LevhaAdet} + 21,597305$	0,658	
		B	424	$y = 0,009872 \times \text{LevhaAdet} + 39,641376$	0,718	
		C	135	$y = 0,01168 \times \text{LevhaAdet} + 16,904818$	0,120	
		BE	37	$y = 0,014 \times \text{LevhaAdet} + 41,950$	0,843	
		BC	620	$y = 0,015115 \times \text{LevhaAdet} + 26,297792$	0,206	

Tablo 9'dan görülebileceği üzere, oluklu makinesi için oluşturulan regresyon modelinin R^2 değeri 0,934 olarak tespit edilmiştir. Regresyon modelinin sonuçlarını karşılaştırmak amacıyla, aynı girdi değişkenleri kullanılarak açık kaynak kodlu Knime programı üzerinden makine öğrenmesi algoritmalarından Random Forest (RF), Probabilistic Neural Network (PNN) ve Simple Regression Tree (SRT) algoritmaları uygulanmıştır. Elde edilen R^2

ve MAPE (%) değerleri Tablo 10'da karşılaştırılmıştır. Kıyaslanan yöntemler tahmin gücü bakımından literatürde kanıtlanmış ve başarılı yöntemler olmasına rağmen bu çalışmadaki veri seti kullanılarak oluklu makinesinde işlem sürelerinin tahmin edilmesinde önerilen regresyon modelinin; R^2 değerleri bakımından karşılaştırıldığında tahmin gücünün uygulanan diğer yöntemlere göre daha yüksek olduğu ve MAPE (%) değeri bakımından karşılaştırıldığında en düşük hataya sahip olduğu görülmektedir. MAPE (%) değerleri açısından sonuçlar karşılaştırıldığında, önerilen çok değişkenli regresyon modeli çok iyi, PNN, SRT ve RF modelleri ise kabul edilebilir olarak sınıflandırılabilir.

Tablo 10. Oluklu makinesi için tahmin yöntemlerinin R^2 ve MAPE (%) açısından karşılaştırılması (Comparison of estimation methods for the corrugating machine in terms of R^2 and MAPE (%))

	Çok değişkenli doğrusal regresyon analizi (SPSS)	RF tahmini (Knime)	PNN tahmini (Knime)	SRT tahmini (Knime)
R^2	0,934	0,813	0,886	0,908
MAPE (%)	%3,53	%50,2	%21,8	%22,8

Konfeksiyon bölümü için yapılan analizler incelendiğinde ise; 44 adet regresyon denkleminin R^2 değerleri 0,105 ile 0,917 değişmektedir. Genellikle birçok kaynakta R^2 değerinin 0,7'nin üzerinde olduğu durumlarda bağımlı değişken üzerinde yüksek seviyede etki olduğu ve R^2 değerinin 0,4'ten küçük olduğu durumlarda ise düşük seviyede etki olduğu söylenmektedir. Tablo 9'da verilen sonuçlar incelendiğinde 44 adet regresyon denkleminin 22 tanesinin R^2 değeri 0,7'den büyüktür. Diğer bir bakış açısıyla, 44 adet regresyon denkleminin 10 tanesinin R^2 değeri 0,4'ten küçüktür. Firmada çalışan uzmanlarla yapılan görüşmeler sonucunda, konfeksiyon makinelerindeki bazı regresyon modellerinin R^2 değerlerinin yüksek bazılarının düşük çıkmasının sebebi olarak operatör bazlı makine kullanımına bağlı verimlilik değişimlerinin girdi verilerini ve dolayısıyla sonuçları etkilediği belirlenmiştir. Tablo 11 ve Tablo 12, oluşturulan modeller doğrultusunda elde edilebilecek sonuçlar örnek olması açısından geçmiş siparişler üzerinde gösterilmiştir.

Tablo 11. Oluklu makinesi için üretim süresi tahmini örneği (An example of processing time estimation for the corrugating machine in the first stage)

Sipariş numarası	Çalışılan metre	Dalga cinsi	Bobin eni (mm)	Kullanılacak kağıtlar	Oluklu hattı tahmini süre (dk.)
21850181/3	1.020	CB	2.300	T090-F115-F080-F115-T090	6,314
21850979/1	2.250	CB	2.300	BT120-F115-F080-F115-T090	13,978
21851080/11	270	CB	2.300	K100-F080-F080-F115-K100	1,494
21850845/1	370	CB	2.300	K100-F080-F080-F115-K100	2,082
21849488/2	9.690	CB	2.300	K100-F080-F080-F115-T090	57,049
21851080/2	570	CB	2.300	T090-F080-F080-F115-T090	3,245
21851080/8	650	CB	2.300	T090-F080-F080-F115-T090	3,716
21851275/1	2.140	CB	2.300	T090-F080-F080-F115-T090	12,477
21851080/12	2.700	CB	2.300	T090-F080-F080-F115-T090	15,770
21851080/9	710	CB	2.300	T090-F080-F080-F115-T090	4,068
21841860/1	1.270	CB	2.300	DK110-F115-F080-F115-DK110	7,801
21851380/1	830	C	2.450	BT120-F140-T140	5,209
21849831/1	1.420	C	2.450	T150-DC150-T140	11,581
21850994/1	6.760	C	2.450	T150-DC150-T140	42,980
21851133/1	280	C	2.450	DK150-IN140-DK150	3,305
21849888/1	1.950	C	2.450	DK150-IN140-DK150	13,124

Tablo 12. Konfeksiyon bölümündeki makineler için üretim süresi tahmini örneği (An example of processing time estimation for the machines in the second stage)

Sipariş no.	Sipariş mik. (adet)	Konfeksiyon makineleri tahmini süreler (dk.)									
		2002	2005	2008	2009	2013	2014	2015	2016	2017	
21850181/3	5.251	79,468	0	0	0	0	79,608	0	93,475	0	
21850979/1	8.399	117,244	0	0	0	143,475	112,618	0	136,524	153,249	
21851080/11	526	22,768	44,079	0	0	30,781	30,062	30,941	28,860	34,248	
21850845/1	756	25,528	47,157	0	0	34,073	32,474	35,019	32,006	37,725	
21849488/2	14.911	195,388	236,565	0	0	236,688	180,903	285,987	225,575	251,678	
21851080/2	1.973	40,132	63,442	0	0	51,493	45,235	56,597	48,648	56,120	
21851080/8	1.050	29,056	51,091	0	0	38,281	35,557	40,232	36,026	42,169	
21851275/1	5.249	79,444	107,278	171,586	83,813	98,386	79,587	114,680	93,448	105,636	
21851080/12	5.250	79,456	107,291	0	0	98,400	79,598	114,698	93,461	105,652	
21851080/9	1.050	29,056	51,091	0	0	38,281	35,557	40,232	36,026	42,169	
21841860/1	2.022	40,720	64,097	0	0	52,195	45,749	57,465	49,318	56,860	
21851380/1	1.051	0	0	0	0	38,296	35,567	0	36,040	0	
21849831/1	2.711	43,100	73,317	0	0	62,057	52,974	69,681	58,740	67,275	
21850994/1	14.112	122,907	225,874	0	0	225,251	172,525	271,821	214,649	239,601	
21851133/1	587	28,232	44,896	0	0	31,654	30,702	32,023	29,695	35,170	
21849888/1	4.070	52,613	91,502	0	0	81,510	67,224	93,776	77,325	87,816	

Konfeksiyon bölümünde, bir siparişin üretiminin uygun olabileceği birden fazla makine bulunmaktadır ve bu

makineleredeki üretim süreleri çok farklı olabilmektedir. Tahmini sürelerle hazırlanacak bir üretim planlama tablosu ile siparişlerin hangi makinede üretilebileceği ve bu üretimin yaklaşık süresi tespit edilebilecektir. Yapılan bu çalışma sayesinde makine çalışma süre tahminlerinin iyileştirilmesi ile işletmede minimum zamanda en uygun makineler kullanılarak üretimin yapılabilmesi bir üretim planı hazırlamak hedeflenmektedir.

Sonuç olarak, işletmenin mevcut durumda yapmakta olduğu uzman görüşlerine göre tahminlerin sonuçlarının iyileştirileceği ve bu bağlı olarak üretim planlama ve çizelgeleme faaliyetlerinin verimliliğinin arttırılacağı düşünülmektedir. Tablo 13, 2018-2019 yıllarına ait kullanılan veri seti göz önüne alındığında bu çalışmada önerilen regresyon modellerinden elde edilen tahminler ile gerçekleşen sürelerin makine bazında MAPE (%) değerleri açısından karşılaştırılmasını göstermektedir.

Tablo 13. Tahmin edilen makine işlem sürelerinin MAPE (%) değerleri (MAPE (%) values of the estimated machine processing times)

Makine	Yıllık MAPE (%)	Yıllık ortalama MAPE (%)
Oluklu	3,530	3,530
	2002	16,290
	2005	22,300
	2008	42,050
	2009	22,520
Konfeksiyon	2013	20,510
	2014	18,000
	2015	19,140
	2016	16,130
	2017	25,160

2018-2019 yıllarına ait kullanılan veri seti göz önüne alındığında uzman görüşlerine göre yapılan tahminlerin MAPE değerleri ile (Bakınız Tablo 3) ve önerilen regresyon modellerinden elde edilen tahminlerin MAPE değerleri karşılaştırıldığında oluklu makinesi MAPE değeri %22,333'den %3,530'a; konfeksiyon bölümü için ortalama MAPE değeri %38,167'den %22,456'e düşürülmüştür. Böylelikle işletmede kayıp zamanlar buna bağlı enerji kaybı ve malzeme kaybının minimuma indirilmesi amaçlanmıştır.

6. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Üretim çizelgeleme, üretim planlama bünyesinde yapılacak işlerin ne zaman ve hangi makinede yapılacağını belirlemeyi hedefleyen programlardır. Bu çalışma kapsamında ele alınan firma sipariş üzerine üretim yapmaktadır. Bu doğrultuda bir siparişin gelmesi ile sistemde görülmekte ve termin süresine bağlı olarak üretimi için planlaması yapılmaktadır. Burada ürünler en az iki ana makineden geçerek hazırlanmaktadır. İlk aşama olan oluklu makinesi tüm ürünlerin başlangıcını oluşturan levhaları oluşturmak için kullanılır. Oluşan levhalar ikinci aşama olan konfeksiyon bölümünde bulunan ana makinelerinden birinden geçerek hazırlanmaktadır. Her makinenin belirli kısıtları doğrultusunda iş ataması gerçekleştirilmektedir. İş atamaların daha verimli olabilmesi için makine sürelerinin tahmin edilmesi önem taşımaktadır. Bunun yanı sıra makine işlem sürelerinin dolayısıyla üretim sürelerinin tahmin edilmesi aşağıdaki avantajları sağlayabilir:

- Siparişlerin ne zaman çıkacağı bilindiği için müşteriye bilgi sağlanarak rekabet avantajı sağlanabilir.
- Bobin değişiminin ve hazırlık sürelerinin planlamasını sağlanabilir.
- Maliyetlerin tahmin edilmesinde kullanılabilir. Böylece yöneticilerin karar vermesi kolaylaştırılabilir.
- Zaman etütlerinin yapılması yerine tahminleri kullanılarak zaman kaybının önlenmesi sağlanabilir.
- Stok yönetimi yapılabilir. Fazla mesainin azaltılması sağlanabilir.

Bu çalışmada, Türkiye'de oluklu mukavva sektöründe faaliyet gösteren bir işletmenin verileri kullanılarak üretim sürelerinin tahmin edilmesi üzerine çalışmalar yapılmıştır ve işletmenin gerçek bir problemi ele alınmıştır. Oluklu makinesi için çeşitli girdi değişkenleri altında çok değişkenli doğrusal regresyon analizi ve konfeksiyon bölümündeki farklı özellikteki makineler için tek bağımsız değişken kullanılarak farklı analizler altında tek değişkenli doğrusal regresyon analizi ile gerçekleştirilmiştir. Elde edilen regresyon denklemleri çalışmanın pratik katkısını göstermektedir. Bu denklemler işletmenin planlama ve çizelgeleme faaliyetlerinin iyileştirilmesine yardımcı olabilir. Regresyon analizlerinde 2018-2019 yılları arasındaki geçmiş 1 yıllık üretim verileri kullanılmıştır. Konfeksiyon bölümünde bulunan makineler birbirinden farklı özelliklere sahiptir. Dolayısıyla işletmedeki uzmanlar ile yapılan görüşmeler sonucunda, farklı özellikteki bu makineler için kuşe durumuna ve dalga cinsine göre çeşitli analizlerin levha adedi bağımsız değişkeni kullanılarak yapılmasının uygun olacağı belirlenmiştir. Sayısal sonuçlar bölümünde Tablo 9'dan da görülebileceği üzere, konfeksiyon bölümündeki regresyon modellerindeki veri sayısı analize göre 10 adet ve 2191 adet arasında değişkenlik göstermektedir. Dolayısıyla, regresyon modellerinin tahmin gücünü temsil eden R^2 değerlerinin yükseltilmesi için bazı analizler birleştirilebilir, özellikle kuşesiz C ve BC dalga ürünler için veri sayısı arttırılabilir ve R^2 değerlerinin yükselip

yükselmediği kontrol edilebilir. Regresyon analizleri ile yapılan tahminler işletmede halihazırda kullanılan uzman görüşlerine göre tahminlere kıyasla daha başarılı sonuçlar vermiştir. Oluklu makinesi için MAPE değeri %22,333'ten %3,530'a ve konfeksiyon bölümü için ortalama MAPE değeri %38,167'den %22,456'ya düşmüştür. Sonuçlara göre, çalışmada çok değişkenli doğrusal regresyon modeli ile oluklu makinesinde başarılı tahminler elde edilmiştir. Ayrıca konfeksiyon bölümündeki bazı makinaların süre tahminleri, bu makinalardaki operatör bazlı verimlilik değişimlerinden dolayı geliştirilmeye açıktır.

Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışma Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından 2017FEBE039 nolu proje kapsamında desteklenmiştir. Bu çalışmanın gerçekleştirilmesi sırasında ihtiyaç duyulan verinin paylaşımını sağlayan Türkiye'de faaliyet gösteren Oluklu Mukavva firmasına ve yetkililerine 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)

- Aktaş, B., Aydın, C., 2018. Talaşlı İmalat Sektöründe Zaman Serileri Kullanarak Üretim Etkililiğinin Tahmini. Bilişim Teknolojileri Dergisi, 11(4), 407-416.
- Alenezi, A., Moses, S. A., Trafalis, T. B., 2008. Real-time prediction of order flowtimes using support vector regression. Computers & Operations Research, 35(11), 3489-3503.
- Altın, S. Ş., 2011. Benzer Süreçlerde Üretilen Ürünler için Yapay Zeka ile Zaman Tahmini. Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı. Yüksek Lisans Tezi. Başkent Üniversitesi, Ankara.
- Aydın, B., 2020. İktisadi Göstergelerin Beklenen Yaşam Süresi Üzerindeki Etkileri: Panel Veri Analizi. Istanbul Journal of Economics, 70(1), 163-181.
- Bilekdemir, G., 2010. Veri Madenciliği Tekniklerini Kullanarak Üretim Süresi Tahmini ve Bir Uygulama. İşletme Anabilim Dalı. Yüksek Lisans Tezi. Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Bilici, A. Y., 2010. Sanayi İşletmelerinde Üretim Planlaması ve Sezersan Matbaacılık ve Ambalaj San. Tic. A.Ş.'de Örnek Uygulama Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı. Yüksek Lisans Tezi. Selçuk Üniversitesi, Konya.
- Can, S., 2020. Rüzgar Türbinleri Kullanılarak Üretilen Elektrik Enerjisi Miktarının Zaman Serileri ile Analizi ve Uygulaması. Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı. Yüksek Lisans Tezi. İskenderun Teknik Üniversitesi, İskenderun, Hatay.
- Ceyhan, H., Kasapbaşı, M. C., 2022. Üretim Sistemlerinde Makine Öğrenmesi ile Kestirimci Bakım Uygulaması ve Modellemesi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi,(33), 167-175.
- Cihanlı, Ö., 2010. Hibrit Akış Tipi Atölyede Çizelgeleme. Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı. Yüksek Lisans Tezi. Uludağ Üniversitesi, Bursa.
- Çuhadar, M., Kayacan, C., 2005. Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Konaklama İşletmelerinde Doluluk Oranı Tahmini: Türkiye'deki Konaklama İşletmeleri Üzerine Bir Deneme. Anatolia: Turizm Araştırmaları Dergisi, 16(1), 24-30.
- Deniz, Ş. L., 2012. Çağımızın ambalajı oluklu mukavva. İstanbul: Oluklu Mukavva Sanayicileri Derneği Yayınları.
- Gönültaş, H., Kızılaslan, H., Kızılaslan, N., 2020. Projections of Effects of Global Warming on Rainfall Regimein Some Provinces; Ankara, Rize, Aydın andHakkâri Provinces Example. Turkish Journal of Agriculture -Food Science and Technology, 8(10), 2156-2163.
- Güler, E., Kandemir, S. Y., 2022. Lineer ve Kübik Regresyon Analizleri Kullanılarak OECD Ülkelerinin CO2 Emisyonlarının Tahminlemesi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi,(Özel Sayı 34), 175-180.
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., Anderson, R. E., 2013. Multivariate Data Analysis. Seventh. New Jersey: Pearson New International Edition.
- Hamzaoğlu, S., 2013. Çoklu regresyon yöntemlerinde güç analizi. İstatistik Anabilim Dalı. Yüksek Lisans Tezi. Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun.
- Işık, K., Kapan Ulusoy, S., 2021. Metal Sektöründe üretim sürelerine etki eden faktörlerin veri madenciliği yöntemleriyle tespit edilmesi. Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 36(4), 1949-1962.
- Karahan, M., 2015. Yapay Sinir Ağları Metodu İle İhracat Miktarlarının Tahmini: ARIMA ve YSA Metodunun Karşılaştırmalı Analiz. Ege Akademik Bakış, 15(2), 165-1172.
- Kesriklioğlu, E., Oktay, E., 2022. Makine Öğrenmesi Yöntemleri Kullanılarak Hanehalkı Toplam Enerji Harcamaları Tahmini. Turkish Research Journal of Academic Social Science, 5(2), 110-118.
- Kırış, Ş., 2008. Hizmet sektörü için bir tepkisel çizelgeleme sistem önerisi acil servis kontrol sistemi. Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı. Doktora tezi. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Eskişehir.
- Kobu, B., 2017. Üretim Yönetimi. 18. İstanbul: Beta Yayınevi.
- Kozaklı, Ö., Mert, M., Fırat, M. Z., 2021. Türkiye etlik piliç üretiminin zaman serisi yöntemi ile modellenmesi. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 58(4), 557-566.
- Köprü, T., 2022. Kestirimci Bakım Zamanlarının Makina Öğrenmesi Yöntemleriyle Tahminlenmesi: Demir Çelik Sektöründe Bir Uygulama. Yüksek Lisans Tezi. Yüksek Lisans Tezi. Karabük Üniversitesi, Karabük.
- Krajewski, L. J., Malhotra, M. K., Ritzman, L. P., 2015. Operations Management Processes and Supply Chains. 11th Edition. Cambridge: Pearson Education Limited.

- Kurnaz, G., 2019. Kablo takımı üretim süresinin ve kusurlu ürün oluşumuna yönelik risk faktörlerinin makine öğrenmesi algoritmaları ile belirlenmesi. Akıllı Sistemler Mühendisliği Anabilim Dalı. Yüksek Lisans Tezi. Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun.
- Kutner, M. H., Nachtsheim, C. J., Neter, J., 2004. Applied Linear Regression Models. Fourth. New York: McGraw-Hill/Irwin.
- Lim, C., McAleer, M., 2001. Forecasting tourist arrivals. *Annals of Tourism Research*, 28(4), 965-977.
- Makridakis, S. G., Wheelwright, S. C., Hyndman, R. J., 1998. Forecasting: Methods and Applications. 3rd. New York: Wiley.
- Mendeş, M., Subaşı, S., Başpınar, E., 2005. Bilimsel Çalışmalarda P-Değerinin Rapor Edilmesi (P<0.01?, P<0.05?, P>0.05?). *Tarım Bilimleri Dergisi*, 11(4), 359-363.
- Mize, J. H., Charles, W. R., Brooks, G. H., 1984. Üretim planlama ve kontrol. İstanbul: İTÜ Yayınları.
- Munguía, J., Ciurana, J., Riba, C., 2009. Neural-network-based model for build-time estimation in selective laser sintering. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 223(8), 995-1003.
- Mutlu, Ö., Ordu, M., Polat, O., 2016. Düşük Riskli Yatırımcılar İçin Bireysel Emeklilik Sistemi İle Banka Vadeli Mevduat Sisteminin Karşılaştırılması. *Alphanumeric Journal*, 4(2), 95-114.
- Nahmias, S., 2005. Production and Operations Analysis. 5th. New York: McGraw/Irwin.
- Ordu, M., Demir, E., Davari, S., 2021. A hybrid analytical model for an entire hospital resource optimisation. *Soft Computing*, 25(17), 11673-11690.
- Ordu, M., Zengin, Y., 2020. A Comparative Forecasting Approach to Forecast Animal Production: A Case of Turkey. *Livestock Studies*, 60(1), 24-31.
- Özcan, B., 2007. Yapay Sinir Ağı Yaklaşımıyla, Peçete Makinesi İmalatı Yapan İşletmede Makine İşleme Sürelerinin Tahmin Edilmesi. Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı. Yüksek Lisans Tezi. Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli.
- Özdemir, E., Ballı, S., 2020. Türkiye Erkekler Basketbol Ligi Maç Sonuçlarının Makine Öğrenmesi Yöntemleri ile Tahmini. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 8(3), 740-752.
- Pinedo, M. L., 2016. Scheduling: Theory, Algorithms, and Systems. 5th. NY, USA: Springer Cham.
- Rencher, A. C., Schaalje, G. B., 2008. Linear models in statistics. Second. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Sabuncuoğlu, I., Bayız, M., 2000. Analysis of reactive scheduling problems in a job shop environment. *European Journal of Operational Research*, 126(3), 567-586.
- Saplıoğlu, K., Çimen, M., 2010. Yapay Sinir Ağlarını Kullanarak Günlük Yağış Miktarının Tahmini. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 1(1), 14-21.
- Sarı, T., Gül, B. S., 2022. Bütünleşik Zaman Serisi Analizi ile Talep Tahmini: İlaç Tedarik Zincirinde Bir Uygulama. *Verimlilik Dergisi*,(4), 597-610.
- Sarıkaya, G., 2019. Yapay Sinir Ağları Ve Regresyon Modelleri ile Bist Ulusal -100 Endeksinin Tahmini. 21. Yüzyılda Eğitim ve Toplum, 8(23), 325-340.
- Senocak, A. A., Guner Goren, H., 2022. Forecasting the biomass-based energy potential using artificial intelligence and geographic information systems: A case study. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 26 100992.
- Sütçü, E., 2018. Kaynaklı İmalat Operasyon Sürelerinin Matlab Yapay Sinir Ağları ile Tahmin Edilmesi. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 4(1), 16-24.
- Tanyaş, M., Baskak, M., 2008. Üretim Planlama ve Kontrol. Genişletilmiş 3. İstanbul: İrfan Yayımcılık.
- Üçüncü, M., 2011. Gıda Ambalajlama Teknolojisi. İstanbul: Ambalaj Sanayicileri Derneği.
- Vainio, F., Maier, M., Knuutila, T., Alhoniemi, E., Johnsson, M., Nevalainen, O. S., 2010. Estimating printed circuit board assembly times using neural networks. *International Journal of Production Research*, 48(8), 2201-2218.
- Yaşarsoy, E., Oktay, K., 2020. Destinasyonda Markalaşma Yolunda Şanlıurfa İçin Bir Model Önerisi. *Türk Turizm Araştırmaları Dergisi*, 4(1), 234-258.
- Yılmaz, N., 2020. 6360 Sayılı Yasa'nın Belediyelerin Mali Yapıları Üzerine Etkileri: Denizli ve Uşak İllerine Yönelik Bir Memnuniyet Araştırması. *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*,(57), 89-114.
- Yüce, T., Kabak, M., 2021. Makine Öğrenmesi Algoritmaları ile Detay Üretim Alanları İçin İş Merkezi Kırılımında Üretim Süresi Tahminleme. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 37(1), 47-60.



AHŞAP HAM MADDELERDE YÜZEY HATASINI BELİRLEMEK İÇİN GÖRÜNTÜ İŞLEME TABANLI KALİTE KONTROL SİSTEMİ

Yaren ÇELİK^{1*}, Berna DENGİZ¹, Selda GÜNEY²

¹ Başkent Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

² Başkent Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Derin Öğrenme,
Görüntü İşleme,
Ahşap Kusur Tespiti,
Evrşimsel Sinir Ağları,
Sınıflandırma.

Öz

Günümüzde ahşap ham madde malzemeleri birçok endüstride kullanılmaktadır. Ahşap ham madde üzerinde gözden kaçan kusurlar, son ürünü görsel açıdan ve dayanıklılık bakımından etkileyerek satışını engelleyebilir. Kusurlu ham maddeler üzerinde elle veya görsel kontrol zor ve yanıltıcı olabilir. Sürekli gelişen dijital teknoloji ve akıllı sistemler sayesinde, kalite kontrol için otomasyon sistemleri geliştirilmektedir. Böylece üretimin erken aşamalarında kusurlar tespit edilebilmektedir. Son ürünün kusurlu veya hatalı olması engellenebildiğinde iş gücü, malzeme ve zaman kayıpları önlenilecek, maliyetler düşürülebilecektir. Bu çalışmada, özel bir kamera sistemi ile elde edilen görüntüler, görüntü işleme temelli Derin Öğrenme (DÖ) yöntemlerinde kullanılarak ahşap ham maddenin kusurlu olup olmadığı ayrımı yapılmaktadır. Kusurların tespitinde kullanılacak model ayırım odaklı bir yöntem olan Evrşimsel Sinir Ağı (ESA) ile geliştirilmiş olup tercih edilen bir yöntemdir. Çalışmada, ShuffleNet, AlexNet, GoogleNet gibi ESA mimarileri denenmiş ve en uygun mimari belirlenmiştir. Çalışmalar sonucunda, ESA mimarileri arasında kusurlu ve kusursuz ahşap ürünlerini belirlemek için kullanılan başarılı yöntemler olan MobileNet, DenseNet ve Inception mimarilerinin, kalite kontrol sistemleri için daha yüksek doğruluk oranları ile sonuçlandığı görülmüştür. En iyi sonuç ise, Inception-V3 mimarisi ile elde edilmiştir ve test doğruluğu %88,41 olarak belirlenmiştir.

IMAGE PROCESSING-BASED QUALITY CONTROL SYSTEM TO DETERMINE THE SURFACE DEFECT IN WOODEN RAW MATERIALS

Keywords

Deep Learning,
Image Processing,
Wood Defect Detection,
Convolutional Neural Network,
Classification.

Abstract

In modern industries, wood raw materials serve a multitude of purposes across various sectors. Undetected flaws within these materials can significantly impact products, affecting both their visual appeal and durability, leading to compromised marketability. Manual and visual inspection of flawed raw materials is a complex process prone to errors in judgment. The rapid evolution of digital technologies has spurred the creation of automated systems designed for precise quality assessments. This progress enables the early identification of defects during production, thereby preventing the occurrence of defective or substandard end-products. Consequently, this approach reduces labor, material, and time wastage, effectively cutting down associated costs. The present study focuses on distinguishing between defective and intact raw materials using images obtained through a specialized camera system. Deep learning techniques in image processing are employed for this purpose, with a particular emphasis on the Convolutional Neural Network (CNN), a classification method chosen for defect detection. A range of CNN architectures, including ShuffleNet, AlexNet, and GoogleNet, were tested, and the most effective one was identified. The results of these experiments demonstrate that within the realm of CNNs, architectures like MobileNet, DenseNet, and Inception have proven highly successful, leading to improved accuracy in quality control systems. Notably, the Inception-V3 architecture emerges as the top performer, achieving a test accuracy of 88.41%.

Alıntı / Cite

Çelik, Y., Dengiz, B., Güney, S., (2023). Ahşap Ham Maddelerde Yüzey Hatasını Belirlemek İçin Görüntü İşleme Tabanlı Kalite Kontrol Sistemi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(4), 1365-1382.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

Y. Çelik, 0000 - 0003 - 4894 - 3780
B. Dengiz, 0000-0002-2806-3308
S. Güney, 0000-0002-0573-1326

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	05.02.2023
Revizyon Tarihi / Revision Date	25.08.2023
Kabul Tarihi / Accepted Date	11.09.2023
Yayın Tarihi / Published Date	30.12.2023

* İlgili yazar / Corresponding author: yarencelik@baskent.edu.tr, +90-312-246-6666/4110.

IMAGE PROCESSING-BASED QUALITY CONTROL SYSTEM TO DETERMINE THE SURFACE DEFECT IN WOODEN RAW MATERIALS

Yaren ÇELİK^{1†}, Berna DENGİZ², Selda GÜNEY³

¹Başkent University, Faculty of Engineering, Department of Industrial Engineering, Ankara, Türkiye

²Başkent University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics Engineering, Ankara, Türkiye

Highlights

- The present study aims to classify defective and non-defective wooden raw materials.
- Images obtained using a specialized camera system were utilized through deep learning techniques in this classification.
- A range of CNN architectures were tested to identify the most effective ones.
- The Inception-V3 architecture became as the top performer, achieving 88.41% test accuracy.

Purpose and Scope

Wooden raw materials have an important role in many modern industries. Undetected defects within these materials impact both the visual appeal and durability of the final product. For this reason, manual and visual inspections are applied in the manufacturing processes. Manual and visual inspection of defective raw materials is a complex process due to it is time-consuming and contains subjective decisions. As soon as the development of digital technologies this process is automated making it possible to identify defects in the products in the early production stage. We aimed to propose a model using deep learning that will automate this process.

Design/methodology/approach

The model to be used in detecting defects was developed with Convolutional Neural Network (ESA), which is a discrimination-oriented method. In the study, ESA architectures such as MobileNet, DenseNet, Inception, ShuffleNet, AlexNet, and GoogleNet were tested and the most suitable architecture was determined. As a result of the studies, it has been seen that MobileNet, DenseNet, and Inception architectures, which are successful methods used to identify defective and perfect wood products among ESA architectures, result in higher accuracy rates for quality control systems. The best result was obtained with the Inception-V3 architecture and the test accuracy was determined as 88.41%.

Findings

For the data set used in this study, preliminary studies were carried out by transfer learning with ready-made DA architectures, and their performances were examined. Finally, an ESA was designed and its results on different parameters were examined. Although the number of layers is reduced in the designed architecture, a lot of data is needed to train the deep network structure from scratch. At the same time, the designed ESA affects learning due to its lower number of layers compared to other architectures that achieve high success in resources. In the studies conducted, the best results were obtained with the Inception-V3 architecture. With this architecture, verification accuracy was achieved as 82.91% and test accuracy as 88.41%. Additionally, MobileNet-V2 and DenseNet-201 architectures have been shown to give promising results.

Research limitations/implications (if applicable)

According to the source research, recent studies carried out to determine the faulty surfaces on the wooden image are shown in this study. However, a direct comparison cannot be made in terms of success because a different data set is used in each study when the studies in this field are examined. According to the results, it is seen that high success can be achieved with this new and original data set for the problem addressed in this study. On the other hand, it is seen that the targets are different for each data set used in the studies presented in the source research. For this reason, a comparison with existing studies in the literature could not be made in this study. It has been seen that the results with an accuracy of over 80% for different success criteria in welding research are interpreted as promising results for studies on wooden images, and the idea has been formed that this success can be improved in future studies.

Originality

This study contributed to the literature by obtaining a model that will distinguish error-free for the special data set obtained by the institute at Instituto Tecnológico de Informática (ITI) in Spain to be used for quality control purposes on the production line. By increasing this data set, the effects on performance can be examined by taking different architectures and different parameters into account in future studies. However, classification performances can be compared by extracting features from different architectures. Additionally, the effects of image enhancement and augmentation techniques on deep networks can be observed.

[†] Corresponding author: yarencelik@baskent.edu.tr, +90-312-246-6666/4110.

1. Giriş (Introduction)

Kalite, bir ürün veya hizmetin belirlenen ya da olabilecek ihtiyaçlarını karşılayan ve tüketicinin isteklerine cevap veren özelliklerinin toplamıdır. Kalite kontrol ise bu özelliklerin elde edildiği bir sürecin etkinliğini azaltacak veya engelleyecek durumlara karşı önlem olarak koruma anlamına gelmektedir. Temel amacı müşterilerin beklentilerinin ve aynı zamanda firmaların amaçlarının en uygun seviyede karşılanabilmesi için üretim planları oluşturup uygulayarak etkin bir sürekliliğin sağlanmasıdır. Kalite kontrol, bir süreçle ilgilendiği için üretimin her aşamasında olduğu kadar, öncesi ve sonrası faaliyetlerinde de etkili olan geniş bir fonksiyondur. Bu fonksiyon ile sunulan ürünün ve üretim sürecinin belli standartlara sahip olması sağlanmaktadır. Böylece üretilen ürünlere ve üreticilerine olan güven artar. Hızlı ve etkili muayenelerle daha az zarar ve masraf ile süreçler korunabilir.

Kalite kontrol ile üretim sürecinde var olan hataların önceden gözlenmesiyle erken aşamalarda düzeltici önlemler alınarak nihai ürünlerin hatalı olması önlenir. Bu sayede işgücü, ham madde ve/veya yarı mamul, zaman gibi birçok üretim unsurunda israf engellenmiş olur. Geçmişte elle veya gözle yapılan kontroller günümüz teknolojisi ile otomatik hale gelmiştir. Bu nedenle gıdadan tekstile kadar birçok endüstride üreticiler her aşamada otomasyona geçmeyi hedeflemektedirler (Kesici ve Yıldız, 2016).

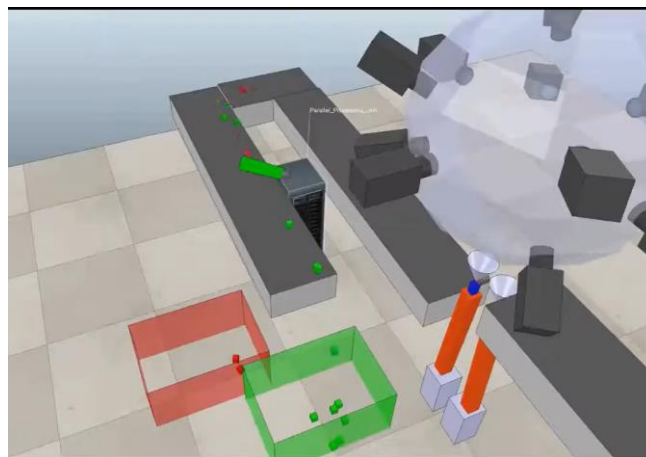
Ahşap endüstrisinde kullanılan ham maddelerin yapılarındaki ve renklerindeki değişiklikler nedeniyle ortaya çıkan anormallikleri elle ve gözle tespit etmek, el ile etiketlemek oldukça öznel ve zaman alıcı bir iştir. Bu zorluklar nedeniyle, malzeme seçimi karmaşık ve zor bir probleme dönüşmektedir. Son yıllarda bu soruna daha hızlı ve hatasız çözüm üretebilmek için Yapay Zeka (YZ) yöntemlerine başvurulmaktadır.

Bu çalışmada YZ yöntemlerinden biri olan DÖ mimarilerinin kullanıldığı bir sınıflandırma modeli geliştirilerek bir kalite kontrol sistemi içinde kullanılması önerilmiştir. Kurulması önerilen sistem tasarımı Şekil 1’de gösterilerek sistemde kullanılacak cihaz ve çalışma mekanizması hakkında detaylı bilgi Bölüm 2’de verilmiştir. Bu çalışmada geliştirilen sınıflandırma modeli için kullanılan fotoğraflar Instituto Tecnológico de Informática (ITI) araştırma grubunun izni ile kullanılmış ve ilgili araştırma grubunun elde ettiği modele göre daha yüksek performansa sahip bir model elde edilmiştir. Böylece araştırma grubu tarafından oluşturulan kalite kontrol sistemi içinde kullanılacak sınıflandırma modeli olarak bu çalışmada geliştirilen modelin kullanılması önerilmiştir.

Makalenin üçüncü bölümünde bu alanda yapılan çalışmaların derlendiği kaynak araştırmasına yer verilirken dördüncü bölümünde çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlere değinilmiştir. Beşinci bölümde deneysel uygulama ve analiz sonuçlarına, altıncı bölümde ise sonuçlar ve tartışmaya yer verilmiştir.

2. Önerilen Kalite Kontrol Sistemi (Proposed Quality Control System)

Önerilen sistem tasarımı Şekil 1’de verilmiştir. Bu sistem tasarımında Instituto Tecnológico de Informática tarafından geliştirilen ZeroGravity3D cihazın veya bir benzerinin kullanılması önerilmiştir. Üretim hattında kontrol edilmesi gereken noktaya bu cihaz yerleştirilir. Hareket eden hat üzerinden ürünler iki lineer robotik kola (mekanizmayı kontrol eden veya hareket ettiren bir tür motorlu kol) gelir. Biri parçayı cihaza doğru fırlatırken diğeri düşen parçayı alır ve hat üzerine bırakır. Bu sırada atılan ürünün kusurlu veya kusursuz olduğunu ayırt etmek için ZeroGravity3D cihazı ile çekilen görüntüler değerlendirilerek sınıflandırılır. Kusurlu kararı verilen ürün kırmızı renkli kutuya, kusursuz kararı verilen ürün yeşil renkli kutuya ayrıştırılır. Bu ayrımı yapmak için hat üzerinde hareketli bir kol bulunmalıdır. Bu kol sayesinde ürünler hat üzerinde ilgili kutulara yönlendirilebilir.



Şekil 1. Kalite kontrol sistem tasarımı (Quality control system design) (Perez-Cortes vd., 2018)

ZeroGravity3D cihazı, endüstriyel görüş sistemlerinde uzmanlaşmış bir Ar-Ge ekibi tarafından, karşılaştıkları gerçek sorunları çözmek amacıyla endüstri ile iş birliği içinde geliştirilmiştir. Makine görüşüne dayanan bu sistem en fazla 30 mm boyutlarında olan her bir parçanın anında 3 boyutlu fotoğraf çekimine, 800 adet/s'de algılamaya ve birden fazla referansla %100 hat içi incelemeye olanak tanımaktadır. Üzerinde bulunan 16 kamera ile bir ürünün yerçekimsiz ortamda 16 farklı açıdan görüntüsü alınabilmektedir. Bu sayede tek bir açıdan kontrol yerine birden fazla açıdan kontrol ile varsa hatalı görüntünün yakalanması sağlanmış olur.

3. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Değişen ve gelişen teknolojiler nedeniyle YZ yöntemlerinin kullanımı, otomotivden savunmaya tıptan eğitime kadar birçok sektörde yaygınlaşmaya başlamıştır. YZ yöntemlerinden biri olan Yapay Sinir Ağları (YSA), ilk defa 1943 yılında McCulloch ve Pitts, (1943) insan beynindeki hücrelerin çalışma şekline esinlenerek beyninin fonksiyonlarına dayalı bir matematiksel model önermesiyle kullanılmaya başlanmıştır. Ardından gelen iki gelişmeyle bugünkü Derin Sinir Ağlarının (DSA) temelleri oluşturulmuştur. İlk gelişme 1975 yılında Fukushima tarafından, beyin fonksiyonları hakkındaki bilgilerden esinlenilerek ilk karmaşık sinir hücresinin kullanılması ve 1980 yılında ise görüntü işleme memeli beyninin görsel sisteminden esinlenilerek çok güçlü bir model mimarisinin ortaya konulması ile yapılmıştır (Fukushima, 1980). Bununla birlikte Rumelhart vd. (1986) yılında tek ve iki katmanlı sinir ağlarında geri yayılım algoritması kullanmıştır. Diğer etkili gelişme ise Hinton vd. (2006) tarafından DSA olarak bilinen bir tür sinir ağını tanımladığı çalışma ile başlamıştır. Bu çalışmada Derin Ağ (DA) katmanları denetimsiz öğrenme metodu kullanılarak eğitilmiştir. Sinir ağlarının bu gelişmesinden sonra makine öğrenmesi teknolojilerine dayalı YZ sistemleri de yaygınlaşmıştır.

Kaynak araştırmasının bundan sonraki kısmı ahşap ürünlerle ilgili yapılan YZ çalışmalarını kapsamakta olup tablo 1'de verilmektedir.

Tablo 1. Kaynak araştırması (Literature survey)

No	Yıl	Yazar	Çalışma	Veri Seti	Sonuçlar
1	2001	O. Silven, M. Niskanen, H. Kauppinen	Wood Inspection with Non-Supervised Clustering	VTT Building Technology tarafından toplamda yaklaşık 900mb veri ve 1000'den fazla etiketli kusurlu görüntü içeren bir dizi çam ağacı pano görüntülerini içermektedir.	Hem iyimser hem de kötümser seçimlerde, sırasıyla %5 ve %2,5, düşük hatadan kurtulma oranı elde edilmiştir.
2	2005	G.A. Ruz, P.A. Estévez	Image Segmentation Using Fuzzy Min-Max Neural Networks for Wood Defect Detection	Şili Üniversitesi veri tabanından on farklı kusur kategorisine sahip 900 adet ahşap pano görüntüleri kullanılmıştır.	Test veri setinde Alan tanıma oranı (The area recognition rate (ARR)) %94,4 olarak elde edilmiştir.
3	2005	Celso A. França, A. Gonzaga	Classification of Wood Plates by Neural Networks and Fuzzy Logic	Etiketli 199 adet test seti kullanılmıştır.	Bu çalışmada, kalem üretiminde kullanılan ahşap levhaların sınıflandırılmasında uygulanan yeni bir yaklaşımda %73,37 düzeyinde doğruluğa ulaşılmıştır.
4	2006	P. Cavalin, L. S. Oliveira, A. L. Koerich, A. S. Britto Jr	Wood Defect Detection Using Grayscale Images and An Optimized Feature Set	Eğitim için iyi ve kusurlu çam kerestesinden elde edilen 400 görüntüden oluşmaktadır.	Destek vektör makineleri ile %98,7 performansına ulaşılmıştır.
5	2009	Si-Y. Wu, Z. Zhang, L. Feng	Statistical Feature Representations for Automatic Wood Defects Recognition Research and Applications	VTT Building Technology tarafından sağlanan toplam 2106 adet (hatasız 1229 ve kusurlu 879 örnek) eğitim seti ve 30 örnekleli test seti kullanılmıştır.	%90'nın üzerinde bir tanımlama oranı (identification rate) elde edilmiştir.
7	2012	A. Mahram, Mahrokh G. Shayesteh, S. Jafarpour	Classification Of Wood Surface Defects with Hybrid Usage of Statistical and Textural Features	Beş tür ahşap budağın renkli görüntülerinden oluşan Oulu Üniversitesi ahşap ve düğüm veri tabanı kullanılmıştır. Bu veri tabanında tüm renkli görseller gri seviyeye dönüştürülmüştür.	GLCM veya LBP sırasıyla %94,37 ve %95,78 ile sonuçlanır. Hibrit GLCM+LBP %100 sınıflandırma doğruluğuna ulaşılmıştır.

Tablo 1. Kaynak araştırması (Literature survey) (devam ediyor)

8	2012	S. Mohan, K. Venkatachalapathy	Wood Knot Classification Using Bagging	Dört budak sınıfına sahip 400 adet ahşap budak görüntüsü kullanılmıştır.	Radyal Temel İşlev (Radial Basis Function) ve Torbalı Rastgele orman (Bagging with Random forest) yöntemleri ile %81 sınıflandırma doğruluğuna ulaşılmıştır.
9	2017	K. Kamal, R. Qayyum, S. Mathavan, T. Zafar	Wood Defects Classification Using Laws Texture Energy Measures and Supervised Learning Approach	Oulu Üniversitesi veri tabanından ahşap düğüm kusurlarına sahip beş farklı sınıftan toplamda 395 görüntü kullanılmıştır.	Ortalama Karesel Hata (MSE) 0,0718 ve ortalama sınıflandırma doğruluğu %90,5 olarak elde edilmiştir.
10	2018	R. Ren, T. Hung, K. C. Tan	A Generic Deep-Learning-Based Approach for Automated Surface Inspection	NEU surface defect, Weld defect, Wood defect ve Micro-structure defect veri setleri olmak üzere 4 farklı veri seti kullanılmıştır.	Sınıflandırma görevlerinde, önerilen yöntem doğruluğu %0,66 - %25,50 oranında artırmaktadır. Segmentasyon görevlerinde önerilen yöntem, yedi hata tipinin tamamında doğrulukları %2,29-%9,86 oranında iyileştirmektedir.
11	2019	T. He, Y. Liu, C. Xu, X. Zhou, Z. Hu, J. Fan	A Fully Convolutional Neural Network for Wood Defect Location And Identification	Altı sınıfa sahip 1200 orijinal görüntü kullanılmıştır.	Ağı değerlendirmek için genel sınıflandırma doğruluğu (OCA), piksel doğruluğu (PA) kullanılmıştır. %99,14 OCA ve %91,31 PA elde edilmiştir.
12	2019	A. Urbonas, V.Raudonis, R. Maskeliunas, R.Damaševicius	Automated Identification of Wood Veneer Surface Defects Using Faster Region-Based Convolutional Neural Network With Data Augmentation And Transfer Learning	Beş kusur sınıfına ait toplam 4729 adet görüntü seti kullanılmıştır.	Önceden eğitilmiş ResNet152 sinir ağı modeli kullanılarak en iyi ortalama doğruluk %80,6'lık elde edilmiştir. Tüm kusur sınıflarını birleştirerek, ahşap yüzey kusurlarını bulmada %96,1'lik bir doğruluk elde edilmiştir.
13	2020	F. Ding, Z. Zhuang, Y. Liu, D. Jiang, X. Yan, Z. Wang	Detecting Defects on Solid Wood Panels Based on An Improved SSD Algorithm	2 tip ahşap için 200'er görüntü olmak üzere toplamda 400 görüntü kullanılmıştır. Ön işleme aşamasından sonra 3 farklı sınıfa ait toplam 500 görüntü kullanılmıştır.	Transfer öğrenme yöntemi, bir hedef tespit algoritması olan tek atış çoklu kutu dedektörünü (SSD) kullanılmış ve algoritmayı iyileştirmek için DenseNet ağı tanımlanmıştır. Üç kusur türü tespit etmek için ortalama kesinlik %96,1 idi.
14	2021	R. Qayyum, K. Kamal, T. Zafar, S. Mathavan	Wood Defects Classification Using Glcm Based Features and PSO Trained Neural Network	Oulu Üniversitesi erişime açık olan ahşap düğüm kusurlarına ait veri seti kullanılmıştır. 3 farklı düğüm kusur tipini içermektedir	PSO bir öğrenme algoritması ile eğitim verileri için Ortalama Karesel Hata (MSE) 0,3483 olarak bulunmuş ve test verileri için %78,26 doğruluk elde edilmiştir.
15	2021	Á. García Faura, D. Štepec, M.Cankar, M. Humar	Application Of Unsupervised Anomaly Detection Techniques to Moisture Content Data from Wood Constructions	Window ve Facade dataset olmak üzere 2 farklı veri seti üzerinde çalışılmıştır.	Gerçek anomalinin tespiti için maksimum F0,5 skoru olan 0,9581 elde edilmiştir. Ayrıca, kesinlik 1 elde edilmiştir ki, bu da tespit edilen tüm numunelerin gerçek anomaliler olduğu anlamına gelir.
16	2021	M. Gao, D. Qi, H. Mu, J. Chen	A Transfer Residual Neural Network Based on Resnet-34 For Detection of Wood Knot Defects	Deneyisel veri seti, Oulu Üniversitesi tarafından sağlanmıştır. Deneyisel örnek olarak 7 sınıfa ait toplam 448 ahşap budak görüntüsü hazırlanmıştır. Eğitim, doğrulama ve test veri kümeleri için sırasıyla 1885, 636 ve 615 görüntü kullanılmıştır.	Deneyisel sonuçlar, TL-ResNet34'ün eğitim veri setinde %99,22 gibi yüksek bir tanıma oranı ve doğrulama veri setinde %2,83 gibi düşük bir eğitim kaybı elde ettiğini göstermiştir. Test veri setine TL-ResNet34 uygulandığında genel doğruluk %98,69'a ulaşmıştır.

Günümüzde firmaların Endüstri 4.0'a geçiş hazırlıkları içinde bulunduğu bu dönemde üretim sektöründe özellikle insan eliyle ve gözü ile yapılan işlemlerin dijital teknolojilerle yapılabilme dönüşümü büyük önem taşımaktadır. Özellikle bu alandaki araştırmaların sayısı gün geçtikçe artmaktadır.

Yapılan çalışmalar incelendiğinde çoğunlukla DÖ yöntemlerinden yararlandığı görülmektedir. Ruz vd. (2005), Şili Üniversitesi veri tabanından elde ettikleri 900 renkli görüntü için Bulanık Enk-Enb Sinir Ağları (Fuzzy Min-Max Neural Networks for Image Segmentation, FMMIS) yöntemini kullanmışlardır. Aynı yıl França ve Gonzaga (2005), yayınladıkları çalışmada 199 plaka için görüntü işleme ve öznetelik çıkarımı gibi farklı ön işlem adımları uygulayarak ileri beslemeli sinir ağlarını kullanmışlardır. Shahnorbanun vd. (2010), 12 farklı kusurlu ve kusursuz

görüntüden oluşan veri setini kullanarak 17 öznitelik için 232 öznitelik vektörü elde etmişlerdir. Spiking Öğrenme Vektör Kuantajı (Spiking Learning Vector Quantization, S-LVQ) mimarisi ile bu öznitelikleri sınıflandırmışlardır. Kamal vd. (2017), Oulu Üniversitesi'nin erişime açık 5 farklı ahşap budak kusurlarına sahip toplam 395 görüntüden oluşan veri setini kullanmışlardır. Çalışmalarında beslemeli geri yayılım sinir ağı, ilk olarak gri seviyeli birlikte oluşum tabanlı öznitelikler ve ikinci olarak yasalara göre doku enerji ölçüleri tabanlı öznitelikler kullanarak ahşap üzerindeki budak kusurlarını sınıflandırmışlardır. Ren vd. (2018), erişime açık 4 farklı veri setini ESA ile sınıflandırmışlardır. Çalışmada öznitelik çıkarımı ile sınıflandırma ve hata bölütleme yapılmıştır. Sınıflandırma işlemlerinde önerilen yöntem, doğruluk değerini artırmıştır. Bölütleme işlemlerinde ise önerilen yöntem üç kusur türünde hata kaçış oranlarını azaltırken yedi kusur türünün tümünde doğruluk değerlerini artırmıştır. He vd. (2019) 6 sınıfa sahip 1200 görüntüyü VGG16 ve Tam ESA'dan oluşan Karma Tam ESA modelini kullanarak sınıflandırmışlardır. Orijinal veri setine çeşitli görüntü işleme yöntemleri uygulanmıştır. Altı tür ahşap kusurunun tanımlanması Karma Tam ESA ile yüksek bir doğrulukla sağlanmıştır. Urbonas vd. (2019) yaptıkları çalışmada 4 farklı kusuru içeren kusurlu ve kusursuz toplam 4729 görüntüyü kullanarak sinir ağı eğitmişlerdir. Çalışmada ahşap kaplama yüzey kalitesinin otomatik analizi için daha hızlı Bölgeye Dayalı ESA (Region Based Convolutional Neural Networks, R-CNN) modelini kullanmışlardır. Sonuçlar, dört sınıftan oluşan ahşap kaplama yüzey kusurunun tanımlanması için, veri artırma ve transfer öğrenme tekniklerinin uygulanabilirliğini göstermiştir. Ding vd. (2020), Akagi ve Pinus sylvestris ağaçlarından elde edilen iki tür ahşap için 3 farklı sınıf kusuru (bütünleşik budaklar, düşer budaklar ve kontrol) içeren 200 × 200 piksel boyutunda toplam 500 görüntü elde etmişlerdir. Bu kusurları tespit etmek için transfer öğrenme yöntemine dayalı bir hedef tespit algoritması kullanılmıştır. Uyguladıkları yöntemde mimari olarak DenseNet ağı seçilmiştir (Ding vd., 2020). Yapılan bir başka çalışmada Gao vd. (2021), Oulu Üniversitesi tarafından sağlanan ve 448 ladin türü ahşap malzemenin içeriğindeki budak için görüntü içeren bir veri setini kullanmışlardır. Bu veri setindeki ahşap budak kusurlarını hızlı ve doğru bir şekilde belirlemek için TL-ResNet-34 transfer artık sinir ağını önermişlerdir. Qayyum vd. (2021), Oulu Üniversitesi erişime açık olan ahşap budak kusurlarına ait veri seti kullanmışlardır. Önerilen sinir ağı yöntemi, 90 farklı ahşap kusur örneğinden gri seviyeli birlikte oluşum matrisine dayalı öznitelikleri çıkarır. Bu öznitelikleri kullanarak kusurları sınıflandırmak için bir Parçacık Sürü Optimizasyonu ile belirlenen parametrelere göre eğitilen ileri beslemeli sinir ağını kullanmışlardır.

Ahşap kusurlarının tespiti için yapılan çalışmalarda DÖ yöntemlerinin yanı sıra geleneksel makine öğrenmesi yöntemleri de kullanılmıştır. Silven vd. (2001), çalışmalarında VTT Building Technology tarafından hazırlanan veri setine 2 aşamalı bir muayene işlemi uygulamışlardır. Her iki aşamadaki sınıflandırmalar, kendi kendini organize eden haritalar (Self-Organizing Map (SOM)) kullanılarak uygulanan denetimsiz kümelemeye dayanmaktadır. Cavalin vd. (2006), çalışmalarında eğitim verileri için çam kerestesinden alınan 400 görüntüye sahip bir veri setini kullanmışlardır. Öznitelik setinin performansını değerlendirmek için Sinir Ağları, Destek Vektör Makineleri ve çok amaçlı genetik algoritmalara dayalı bir özellik seçim algoritması kullanmışlardır. Wu vd. 2009 yılında VTT Building Technology tarafından sağlanan toplam 2106 örneği olan eğitim setini oluşturmuşlardır. Yerel İkili Desen (Local Binary Pattern, LBP) ve Çift Ağaçlı Karmaşık Dalgacık Dönüşümü (Dual-Tree Complex Wavelet Transform, DTCWT) yöntemleri, sınıflandırma işlemlerinde sıklıkla kullanılan Destek Vektör Makineleri (DVM) yöntemi birleştirilerek yeni bir ahşap kusurlarını tanıma yöntemi sunmuşlardır. Mahram vd. (2012), Oulu Üniversitesi tarafından hazırlanmış olan ahşap ve budak veri tabanını kullanarak 5 kusur türü için sınıflandırma algoritması geliştirmişlerdir. Bu sınıflandırma algoritmasında DVM ve k-En Yakın Komşu (k-Nearest Neighbour, k-NN) sınıflandırıcıları kullanılmıştır. Mohan ve Venkatachalapathy (2012) yaptıkları çalışmayı 4 farklı budak türü içeren toplam 400 adet ahşap budak görüntüsü kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada ahşap levhalardaki budakların tespiti ve sınıflandırılması önerilmiştir. Budakların görüntüsüne Hilbert dönüşümü ve Gabor filtreleri uygulanarak önceden işlenmiş ve öznitelikleri çıkarılmıştır. Çıkarılan öznitelikler Naive Bayes, Radyal Temel fonksiyonu ve Torbalama Teknikleri kullanılarak sınıflandırılmıştır. Faura vd. (2021), yaptıkları çalışmada Window ve Facade adıyla erişime açık iki veri setini kullanmışlardır. Bu veri setleri farklı ağaç örneklerinden kaydedilen Nem İçeriği (MC) sinyallerinden oluşmaktadır. Denetimsiz Anomali Algılama (Unsupervised Anomaly Detection, UAD) tekniklerini uygulayarak kusur tespiti yapmışlardır. Deneysel sonuçlar UAD'nin her iki durumda da anomalileri başarılı bir şekilde tespit etmek için uygulanabileceğini göstermektedir.

Kaynak araştırması kapsamında yukarıda verilen bilgiler ışığında ahşap malzeme sınıflandırma çalışmalarında farklı DÖ mimarileri ile yüksek başarılar elde edilebildiği görülmüştür. Bu çalışmalarda başarılı sonuçlar elde edilse de sonuçların gelişmeye açık olduğu da gözlenmiştir. Bu zamana kadar incelenen kaynaklar ışığında, bu çalışmada kullanılan ahşap görüntülerine ilişkin veri setinin ilk kez bu çalışmada kullanıldığı ve probleme özgü elde edildiği görülmektedir. Bu çalışmanın amacı bu özgün veri seti kullanılarak ahşap üretim hattında kullanılacak ham maddenin hatalı olup olmadığını ayırtmayı yapacak yapay zekâ yöntemleriyle geliştirilen bir model elde etmektir.

4. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

4.1. Veri Seti (Data Set)

Bu çalışmada kullanılan veri seti (görüntüler) Instituto Tecnológico de Informática (ITI) araştırma enstitüsünden elde edilmiştir. Görüntüler 16 kameradan oluşan sıfır yer çekimli 3-boyutlu “ZG3D” isimli cihaz ile çekilmiştir. Cihaz ITI enstitüsünde üretilmiştir. Bu cihaz, birden fazla kamerası ile havadaki bir nesnenin görüntüsünü 3 boyutuyla alabilmektedir. Alınan görüntüler kırıldıktan sonra ilgili alanda depolanmıştır. Ahşap endüstrisinde kalite kontrol faaliyetlerinde kullanılabilir bu cihazın daha işlevsel olabilmesi için çevrimiçi sınıflandırma ile bir sistem kurulması hedeflenmektedir. Bu cihaz bir üretim hattına serbest düşüş veya robotik kol beslemeli olmak üzere iki farklı şekilde kurulabilmektedir. Serbest düşme durumunda incelenecek parçalar bir konveyör içinde hareket eder ve ZG3D cihazının çekim alanına düşer, nesne cihazın merkezindeyken tüm kameralar görüntü alır, böylece nesnenin görünmeyen hiçbir yüzeyi kalmaz. Daha sonra nesne başka bir konveyöre düşer. Robotik kolun görevi nesnelerin cihazın altından yukarıya fırlatılmasını sağlamaktır. Böylece nesne cihazın önündeysen yakalanarak görüntüsü alınmakta ve kaydedilmektedir (Perez-Cortes vd., 2018).

Bu şekilde oluşturulan veri seti, ahşap dokulu nesnelere mevcut anormallikleri belirlemek için elde edilmiştir. Bu görüntülerdeki anormal bölgeler el ile etiketlenmiştir. Ayrıca, güvenilirliği artırmak için her görüntü iki farklı ekip tarafından etiketlenmiştir. Ahşap nesnelere çatlak, leke, gözeneklilik ve budak olmak üzere dört olası anormallik içermektedir. Bu dört anormallik türü tek bir etiketle işaretlenmiştir ve anormal durum olarak tanımlanmıştır (Perez-Cortes vd., 2018). Veri seti içerisinde bulunan görüntüler Kırmızı Yeşil ve Mavi (Red Green and Blue, RGB) formatında olup farklı piksel seviyelerine sahiptirler. Bunun sebebi her görüntünün renk tonlarının farklı olmasıdır. Veri seti ITI merkezinden görüntü işlemeye hazır olarak elde edilmiş ve bu nedenle verilerin istatistiksel olarak uygun olduğu varsayılmıştır. Kusursuz ve kusurlu görüntü örnekleri Şekil 2 ve Şekil 3’te verilmiştir.



Şekil 2. Kusursuz görüntü örnekleri (Examples of non-defective images) (Perez-Cortes vd., 2018)

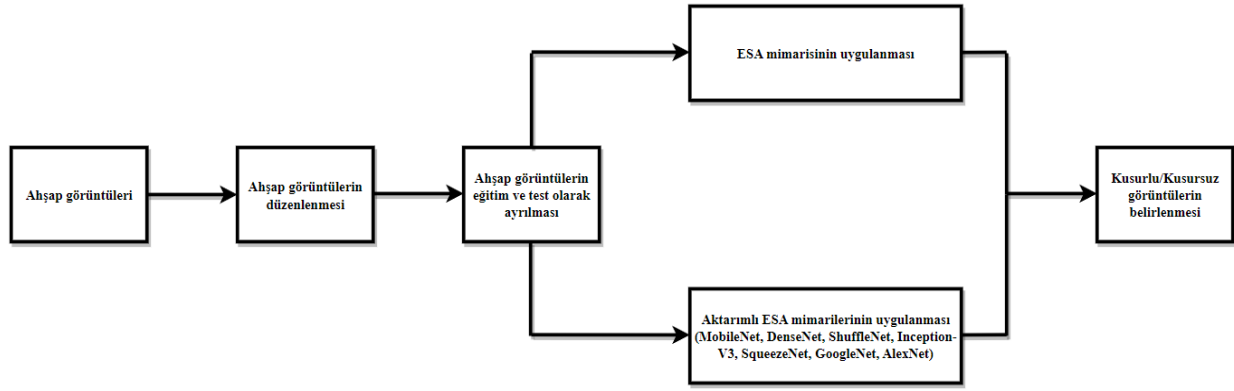


Şekil 3. Kusurlu görüntü örnekleri (Examples of defective images)(Perez-Cortes vd., 2018)

Açık erişimli veri seti dört ana bölümden oluşmaktadır: “Eğitim”, “Doğrulama”, “Test” ve “Tamamı Test”. “Eğitim” ve “Doğrulama” dizinlerinde bulunan tüm görüntüler kusurlu olmayan yani normal görüntülerdir. Ayrıca, “Test” dizini iki klasör içerir: “Görüntüler” ve “Maskeler”. Görüntüler dizini içindeki görüntülerin maskeler dizini içerisinde adı (maskesi) varsa bu görüntü kusurlu yani anormal görüntüdür. Son olarak, “Tamamı test” dizini içindeki görüntüler test aşaması için daha fazla sayıda görüntü içerir. Bu dizin içinde bu görüntüler için ayrıca iki maske dizini bulunmaktadır. Bu dizinler, iki ekip tarafından oybirliğiyle etiketlenen (Ve) ve yalnızca bir ekip tarafından etiketlenen (Veya) görüntüler olarak ayrılır. Bu ayırım ile algoritmaların daha doğru bir şekilde değerlendirilmesine olanak sağlanması hedeflenmiştir. Böylece alanında uzman insanların bile anlayamadığı bölgeler içinde algoritma herhangi bir anormal piksel tespit etse de bu algoritmanın başarısızlığını göstermemektedir. Bu nedenle anormalliklerde fikir birliği olmayan bölgeler değerlendirme ölçütlerinden çıkarılmalıdır. Sonuçta yalnızca bir ekip tarafından etiketlenen bölgelerin yok sayılmasına ve değerlendirme ölçütlerinde iki ekip tarafından oybirliğiyle etiketlenen anormal bölgelerin kullanılmasına karar verilmiştir. Eğitim dizini içerisinde 619 görüntü, doğrulama dizini içerisinde 183 görüntü, test dizini içerisinde 478 görüntü ve tamamı test dizini içerisinde 2398 görüntü bulunmaktadır. Tüm veri 3678 görüntüden oluşmaktadır.

4.2. Önerilen Yöntem (Proposed Method)

Bir üretim hattında üretilen ahşap ham madde üzerinde anormal görüntülerin tespiti için ESA ile ilgili kaynak araştırması yapılarak 7 DÖ mimarisi değerlendirilmiştir. Çalışmada izlenecek yol Şekil 4’te verilmiştir.



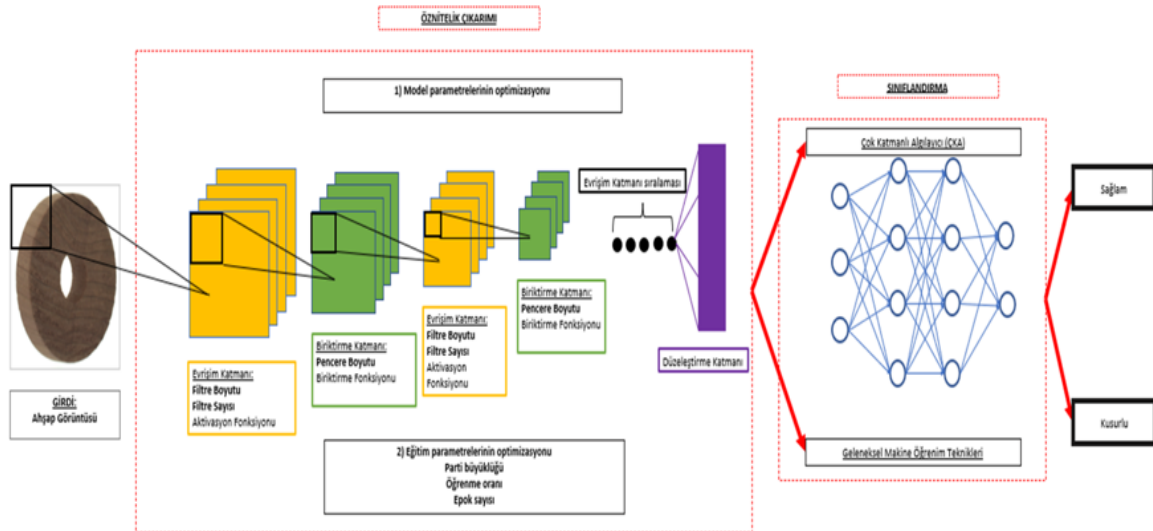
Şekil 4. Akış şeması (Flow chart)

İlk olarak, veri setinde bulunan tüm normal ve anormal görüntüler maskelerine göre etiketlenerek normal ve anormal dizinleri olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Ardından, veri setinin %70'i eğitim ve %30'u test için rassal olarak ayrılmıştır. Eğitim için ayrılan verilerin %70'i eğitimde k, %30'u ise doğrulama amacıyla kullanılmak üzere rastgele bölünmüştür. Hazırlanan verilere ESA ve aktarımlı ESA mimarileri farklı parametre setleri ile uygulanarak en iyi sınıflandırmayı yapan mimariye karar verilmiştir.

4.2.1. Evrişimsel Sinir Ağları (Convolutional Neural Network)

Beynin nesnelere öğrenme yapısından esinlenerek benzer katmanlarla YSA'lar, DA'lara dönüştürülmüştür. ESA'da DA modellerinden biridir. ESA, birincil görsel korteksteki basit ve karmaşık hücreleri anımsatan, evrişim ve alt örnekleme olmak üzere iki temel işlemi değiştiren hiyerarşik modellerdir. ESA, ağırlıkları paylaştığı için, standart çok katmanlı ağlarda olduğu gibi, serbest parametre sayısı giriş boyutlarıyla orantılı olarak artmaz. Bu nedenle ESA, gerçek boyutlu görüntülere iyi ölçeklenir ve birçok nesne tanıma, görüntü işleme vb çalışmaların karşılaştırmasında üstün olduğu bilinmektedir (Masci vd., 2012).

Bu çalışmada, ahşap ham madde üzerindeki anormallikleri sınıflandırmak için ESA yöntemi kullanılmıştır. Bu amaçla yapılan çeşitli uygulamalar izleyen bölümde verilmektedir. ESA'ların temel yapısı Şekil 5'te gösterilmiş ve temel yapı taşları aşağıda kısaca açıklanmıştır:



Şekil 5. Evrişimsel sinir ağı mimarisi (Convolutional neural network architecture)

Bir ESA, bir görüntüyü girdi olarak alabilen, bu görüntüdeki çeşitli özelliklere önem atayabilen ve bu özelliklerin birini diğerinden ayırt edebilen en çok tercih edilen DÖ algoritmasıdır. Gerekli olan ön işlem sayısı, klasik sınıflandırma algoritmaları ile karşılaştırıldığında çok daha düşüktür. Klasik yöntemlerde öznetelikler, yeterli eğitimle elle üretilirken, ESA yapısı gereği bu öznetelikleri öğrenme yeteneğine sahiptir (Toğaçar vd., 2020).

Genel olarak bir ESA yapısındaki öznetelik çıkarma katmanı (evrişim bloğu), evrişim katmanı, aktivasyon işlemi ve biriktirme katmanını içerir ve yüksek boyutlu verilerden düşük boyutlu özelliklerin çıkarılmasını sağlar. Evrişim katmanı, çekirdek (filtre) ve girdi (görüntü) arasındaki evrişim sürecini gerçekleştirerek özellik haritaları

oluşturur. Evrişim katmanının çıktısı, filtre boyutu, filtre sayısı, adım ve dolgu gibi parametrelere dayanır. Her evrişim katmanından sonra seçilen aktivasyon fonksiyonu uygulanır ve bu katman ağı doğrusal olmayan bir yapıya dönüştürerek öğrenmeyi hızlandırır. Biriktirme diğer bir adıyla havuzlama, her bir özellik haritasının boyutunun küçültülmesi anlamına gelen bir alt örnekleme tekniğidir. Biriktirme katmanı, sonraki ağ katmanları için hesaplama yükünü azaltır. Son aşamada ağı sonunda tam bağlantılı katmanlar kullanılır ve bu katmanlar geleneksel sinir ağı mimarisinden oluşur. Tam bağlantılı katman, önceki katmanlarda çıkarılan öznelikleri kullanarak sınıflandırma sonucunu vermeyi amaçlar (Karaca vd., 2021).

İnsan beyni yapısı gereği, bilerek veya bilmeden geçmiş deneyimlerine dayanarak karşılaştığı yeni durumlara cevap verir. Makine öğrenmesinde de karşımıza çıkan bu yaklaşıma aktarımlı öğrenme (transfer öğrenme) denilmektedir. Aktarımlı öğrenmede geçmişte karşılaşılan durumların bilgileri saklanarak yeni gelen durumda bu bilgilerden yola çıkarak karar verilir (Fırıldak ve Talu, 2019). Bu yaklaşımla büyük verilerin işleme gereksinimi ve işlemci kapasitelerinin gelişmesi ihtiyaçları ortaya çıkmıştır. Bu ihtiyaç doğrultusunda farklı derin sinir ağ mimarileri geliştirilmiştir. Bu mimariler girdi verisinden farklı katmanlarda farklı özelliklerin keşfedildiği öğrenme işlemi kendisi yapmaktadır. Temelde ESA yapısına sahip olan bu mimarilerin bazı farklı yapısal özellikleri bulunmaktadır. ESA'lar görüntü sınıflandırma, segmentasyon, video işleme, nesne tanımlama vb. birçok problemde başarılı sonuçlar elde ettiği için DSA mimarileri de bu problemlere uygulanarak başarılı sonuçlar elde edilmiştir (İnik ve Ülker, 2017; Ser ve Bati, 2019).

Çalışmada kullanılan mimariler ve girdi boyutları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Derin sinir ağ mimarilerinin girdi boyutları (Input size of deep neural network architecture)

Derin Ağ Mimarileri	Girdi Boyutları
ESA	(360 x 360 x 3) ve (224 x 224 x 3)
AlexNet	227 x 227 x 3
GoogleNet	224 x 224 x 3
SqueezeNet	227 x 227 x 3
Inception - V3	299 x 299 x 3
ShuffleNet	224 x 224 x 3
DenseNet-201	224 x 224 x 3
MobileNet - V2	224 x 224 x 3

Derin öğrenme ilk kez 1998 yılında Yann LeCun'nun yaptığı çalışma ile ortaya çıkmıştır. Yayılması 2012 yılında ImageNet yarışmasını AlexNet modelinin kazanması ile olmuştur. AlexNet mimarisi 1000 nesneyi sınıflandıracak şekilde tasarlanmış ve nesne tanımadaki hata oranı %15,4'e indirilmiştir. Bu mimarinin ilk beş katmanı evrişim katmanından ve son üç katmanı ise tam bağlantılı katmandan oluşmaktadır. Bu katmanlar arasında biriktirme ve aktivasyon katmanları bulunmaktadır. Ayrıca bu mimari giriş ve çıkış katmanlarını da içermektedir. Girdi görüntü boyutu 227x227x3, kullanılan filtrelerin boyutu 11x11, filtre sayısı 96 ve adım uzunluğu 4 olarak belirlenmiştir (Krizhevsky vd., 2017; Russakovsky vd., 2015).

GoogleNet ardışık olarak evrişim ve biriktirme katmanlarını istifleyen yapılardan uzaklaşan ilk ESA mimarilerinden biridir. 22 katmanlı yapısı birbirine paralel bağlı Inception modüllerini içermektedir. Bu ağ mimarisinde diğer mimarilerden farklı olarak ağı derinliği ve genişliği artarken hesaplama ve bellek maliyeti ile ağı ezberleme olasılığı azaltılmıştır. GoogleNet 2014 yılında yapılan ImageNet yarışmasını nesne tanımadaki %6,67 hata oranı ile kazanmıştır (Deng vd., 2009; Szegedy vd., 2015).

Mobil cihazlarda iyi performans göstermeyi hedefleyen ESA mimarisidir. Darboğaz katmanları (bottleneck structure) arasında artık bağlantıların (residual connection) olduğu ters çevrilmiş yapıdadır. 32 filtrelili evrişim katmanı ve 19 artık darboğaz katmanından oluşan MobileNet-V2, 53 katman derinliğine sahiptir. ImageNet veritabanı ile önceden eğitilmiş bu ağ mimarisi çok çeşitli görüntüler için öznelikleri öğrenebilir ve çok sayıda nesneyi sınıflandırabilir. Bu mimari 224x224x3 girdi görüntü boyutuna sahiptir (Deng vd., 2009; Sandler vd., 2018).

ImageNet veritabanı üzerindeki görüntülerde eğitilmiş bir başka ESA ise 224x224x3 girdi görüntü boyutuna sahip olan ShuffleNet mimarisidir. Hesaplama maliyetini azaltmak için geliştirilen bu mimari, ilk olarak belirli bir gruptan gelen çıktılardaki bilgi bloke edilirken ikinci durumda kanal karıştırma işlemi kullanılır. Evrişim katmanında bilgi farklı gruplara aktarılır (Deng vd., 2009; Zhang vd., 2018)

ImageNet veritabanından bir milyondan fazla görüntü üzerinde eğitilmiş bir başka ESA SqueezeNet mimarisidir. Önceden eğitilmiş bu ağ mimarisi diğer mimarilerde olduğu gibi çok çeşitli görüntüler için zengin öznelik temsillerini öğrenerek sınıflandırma yapabilir. SqueezeNet, 18 katman derinliğine ve 227x227x3 girdi görüntü

boyutuna sahiptir (Deng vd., 2009; Iandola vd., 2016).

DenseNet-201 mimarisi 201 katman derinliğine sahip olup, ImageNet veritabanındaki görüntüler üzerinde eğitilmiş bir başka ESA'dır. 224x224x3 girdi görüntü boyutuna sahip olan DenseNet-201, önceden eğitilmiş diğer ağlarda olduğu gibi çok çeşitli görüntüler için zengin öznitelikleri öğrenerek sınıflandırır (Deng vd., 2009; Huang vd., 2017).

Inception-V3 48 katman derinliğine sahip olan bir ESA'dır. ImageNet veritabanından önceden eğitilmiş bir başka ağ mimarisidir. Çok çeşitli görüntüler için zengin öznitelikleri öğrenerek sınıflandıran ağ, 299x299x3 bir görüntü girdi boyutuna sahiptir (Deng vd., 2009; Szegedy vd., 2016).

4.2.2. Performans Ölçütleri (Performance Metrics)

Makine öğrenmesi yöntemlerinin ve DA'ların sınıflandırma problemlerindeki performanslarının değerlendirilmesinde birçok ölçüt kullanılmaktadır. Kullanılan ölçütlerle hangi modelin daha doğru sonuçlar ürettiğine karar verilir. Kaynak araştırmasında sıklıkla kullanılan ölçütler karışıklık matrisi adı verilen tabloya dayandırılarak hesaplanmaktadır. Sınıflandırma problemlerinde bir sınıflandırıcı modelin performansını görsel olarak sunan tablo düzenine karışıklık matrisi adı verilir. Bu matriste her sütun tahmin değerlerini, her satır ise gerçek değerleri ifade etmektedir. İki sınıflı bir sınıflandırma problemi için oluşturulan karışıklık matrisi Tablo 3'teki gibidir.

Tablo 3. İki sınıflı karışıklık matrisi (Two-class confusion matrix)

		TAHMİN EDİLEN SINIF	
		POZİTİF	NEGATİF
GERÇEK SINIF	POZİTİF	Doğru Pozitif (DP)	Yanlış Negatif (YN)
	NEGATİF	Yanlış Pozitif (YP)	Doğru Negatif (DN)

Doğru Pozitif (DP), sınıflandırıcı model tarafından pozitif sınıfa ait verilerden doğru sınıflanan sayısını verirken; Yanlış Pozitif (YP), gerçekte negatif sınıfa ait verilerin sınıflandırıcı model tarafından sınıflandırılması sonucunda pozitif olarak etiketlenenlerinin sayısını verir. Doğru Negatif (DN), sınıflandırıcı model tarafından negatif sınıfa ait verilerden doğru sınıflanan sayısını verirken; Yanlış Negatif (YN), gerçekte pozitif sınıfa ait verilerin sınıflandırıcı model tarafından sınıflandırılması sonucunda negatif olarak etiketlenenlerinin sayısını verir.

Karışıklık matrisindeki bu değerler kullanılarak hesaplanan ölçütler ile sınıflandırıcı modelin performansı değerlendirilir. Performans değerlendirmede tek bir ölçüt yeterli olmamaktadır. Bu nedenle dikkate alınacak ölçütler Eşitlik (1-5)'te verilmiştir.

Eğitim veri setiyle eğitilen modelin test veri setindeki verileri sınıflandırırken doğru sınıflandırdıklarının oranıdır:

$$\text{Doğruluk} = \frac{DP + DN}{DP + DN + YP + YN} \quad (1)$$

Eğitilen modelin gerçekte pozitif sınıfa ait verilerden doğru sınıflandırdıklarının tahmin ettikleri içindeki oranıdır;

$$\text{Duyarlılık} = \frac{DP}{DP + YN} \quad (2)$$

Eğitilen modelin gerçekte negatif sınıfa ait verilerden doğru sınıflandırdıklarının tahmin ettikleri içindeki oranıdır;

$$\text{Özgüllük} = \frac{DN}{DN + YP} \quad (3)$$

Modelin pozitif olarak sınıflandırdıklarının ne oranda doğru sınıfa ait olarak sınıflandırıldığını gösteren orandır;

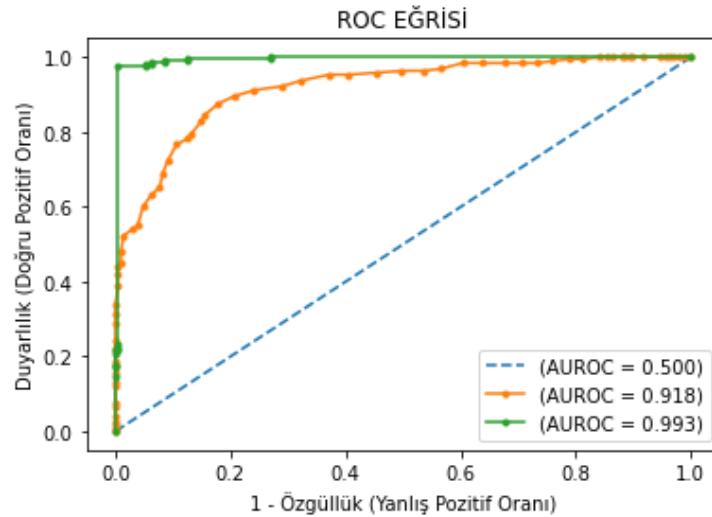
$$\text{Kesinlik} = \frac{DP}{DP + YP} \quad (4)$$

Genellikle kesinlik ve duyarlılık tek başına anlamlı karşılaştırma için yeterli olmamaktadır. Bu iki ölçüt bir araya getirilip harmonik ortalaması alınarak daha anlamlı F skor değeri bulunur. Bu değer 0 ile 1 aralığında değer alır, ancak 1'e yakın olması beklenmektedir. β değeri genellikle 1, 0,5 ve 2 değerlerini alır.

$$F_{\beta} \text{ skor} = \frac{(1 + \beta^2) \times (\text{kesinlik} \times \text{duyarlılık})}{\beta^2 + (\text{kesinlik} \times \text{duyarlılık})} \quad (5)$$

%100 doğruluğa, duyarlılığa ve özgüllüğe sahip sınıflandırıcı mükemmel sınıflandırıcı olarak adlandırılır; fakat bu çok sık karşılaşılan bir durum değildir. Duyarlılık ile özgüllük arasında biri artarken diğersinin azaldığı ters ilişkili bir denge vardır. Bu nedenle en başarılı sınıflandırıcı model seçilirken yüksek doğruluk değerinin yanında duyarlılık ve özgüllük değerlerinde bir denge durumu elde edilmeye çalışılmalıdır.

İşlem Karakteristik Eğrisi (ROC), sınıflandırma, tanı koyma gibi problemlerde performans metriği olarak yalnızca duyarlılık ve özgüllük değerlerini kullanmanın önüne geçmek için geliştirilmiş istatistiksel değerlendirme yöntemidir. İşlem Karakteristik Eğrisi üzerindeki her nokta, farklı değerlere karşılık gelen doğru pozitif (duyarlılık) ve yanlış pozitif (1-özgüllük) değerlerini gösterir. Genellikle düşük yanlış pozitif oranının, yüksek doğru pozitif oranına karşılık gelmesi ve yanlış pozitif oranı azaldıkça doğru pozitif oranının artması beklenmektedir. Bir işlem karakteristik eğrisi altında kalan alan (AUC), testin performansını tek bir değer ile ifadesini sağlayan pratik bir yöntemdir. Bu değer ne kadar büyükse test sonucu o kadar iyi olmaktadır. İşlem karakteristik eğrisi altında kalan alan 0,5'ten 1'e kadar değişim göstermektedir. Şekil 6'da işlem karakteristik eğrisi gösterilmiştir (Fawcett, 2004).



Şekil 6. İşlem karakteristik eğrisi (Receiver operating characteristic curve) (Fawcett, 2004)

5. Deneysel Uygulama ve Analiz (Experimental Application and Analysis)

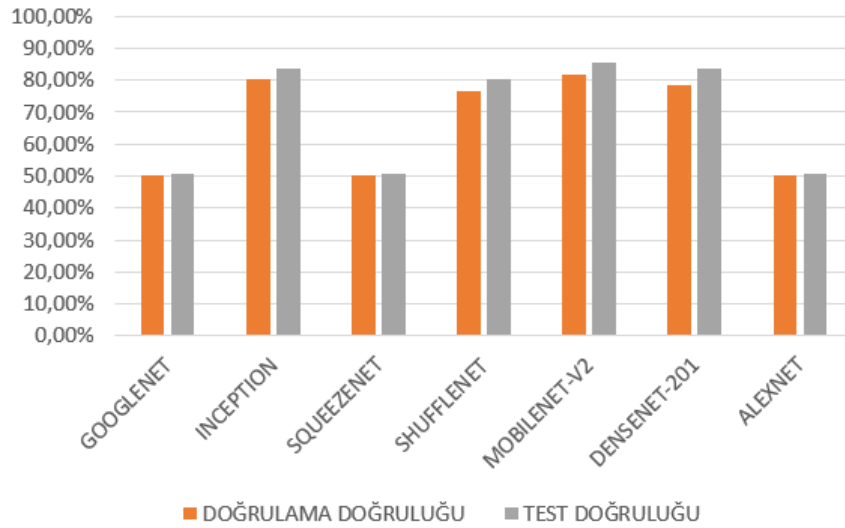
Bu çalışmada yalnızca iki ekip tarafından anormal olarak oybirliğiyle etiketlenen görüntüler anormal sınıfta kabul edilmiş ve sınıflandırma uygulamaları için veri seti yeniden düzenlenmiştir. İlk olarak, tüm normal ve anormal görüntülerin etiketleri maskelerine göre etiketlenmiştir. Ardından normal ve anormal dizinleri olarak bir araya toplanmıştır. Veri setinde 1855'i anormal, 1823'ü normal olmak üzere toplam 3678 görüntü bulunmaktadır. Veri setinin %70'i eğitim için ve %30'u test için rassal ayrılmıştır. Bu sayede eğitim ve test veri kümeleri hem normal hem de anormal görüntü içeren ahşap ham madde görüntülerinden oluşturulmuştur. Son olarak, eğitim verilerini eğitmek için %70 ve doğrulama için %30 veri rastgele olarak bölünmüştür.

Özetlemek gerekirse, bu çalışmada amaç "normal" bir ahşap dokudan "normal" in ne olduğunu öğrenen ve incelenen bir ahşap dokusunun anormal olup olmadığını çıkararak bir model elde etmektir. Bu nedenle, geliştirilecek yöntemden bir görüntüden anormalliği öğrenerek veri setindeki görüntüleri normal ve anormal olarak

sınıflandırması beklenir. Bu çalışmada ele alınan yaklaşımlar arasında pratik bir endüstriyel perspektif ile problemi çözen en uygun yaklaşım ESA'dır. Bu yaklaşım göz önüne alındığında, yeni bir anormallik algılama süreci oluşturmak, sınıflandırılacak bir dizi nesnenin toplanmasını gerektirir ve bunlar kullanılarak bir ağ eğitilir. Ardından, inceleme altındaki diğer tüm nesnelere ilk kümeyle karşılaştırılır. Normallikten önemli bir sapma olduğunda, nesne otomatik olarak anormal olarak sınıflandırılır.

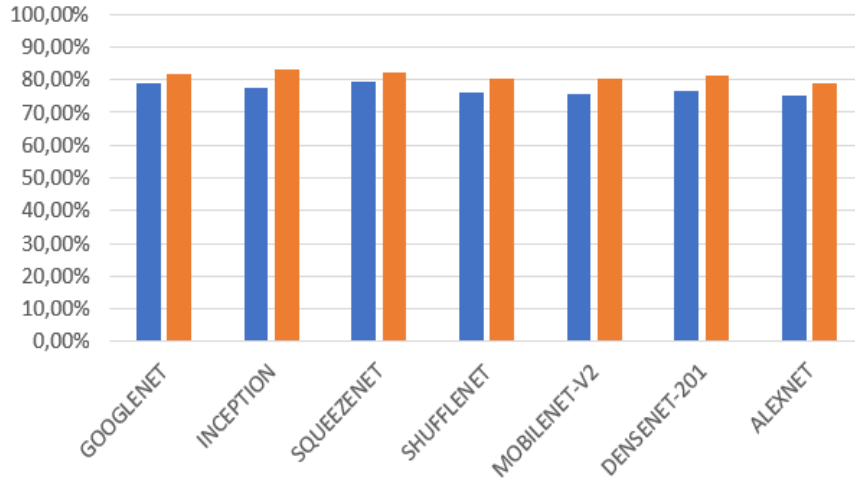
Kaynak araştırmasında yapılan çalışmalar incelendiğinde model seçimi için çeşitli performans ölçütlerinin dikkate alındığı görülmüştür. Burada önemli olan nokta problem yapısıdır. Eğer incelenen problem sonucunda hassas bir sonuç elde edilecek ise (örneğin; bir hastalığı belirleme) bu durumda birden fazla ölçüt ile modeller karşılaştırılırken çok hassas bir sonuç elde edilmeyecek ise tek bir ölçüt ile modeller karşılaştırılabilir. Sınıflandırma çalışmalarında çoğunlukla tercih edilen ilk ölçüt doğruluk değeri (accuracy) olmaktadır. Bu çalışmada öncelikle modellerin doğruluk değerleri dikkate alınarak farklı yöntemlerle elde edilen modeller karşılaştırılmıştır. Ayrıca her senaryoda elde edilen en yüksek doğruluk değerlerine sahip sonuçlar bir araya getirilerek eğrinin altında kalan alan değerine göre karşılaştırılmıştır. Burada istenilen yüksek doğruluk değerine sahip modelin aynı zamanda eğrinin altında kalan alan değerinin de yüksek olmasıdır.

Bu çalışmada ilk olarak hazır DA mimarileri kullanılmıştır. Kaynak araştırmasında da sıklıkla kullanılan derinlik ve genişlik açılarından farklı 7 mimari, farklı parametre değerleri ile uygulanmıştır. Sonuçlar doğrulama ve test doğruluk ölçütleri dikkate alınarak karşılaştırılmıştır. Parametrelerden öğrenme oranı 0,01, eğitim tur sayısı (epok) 30, doğrulama sıklığı 50 ve optimizasyon yöntemi Momentum ile Stokastik Gradyan İnişi (Stochastic Gradient Descent with Momentum, SGDM) olarak ayarlanmış ve sonuçlar elde edilerek Şekil 7'de gösterilmiştir.



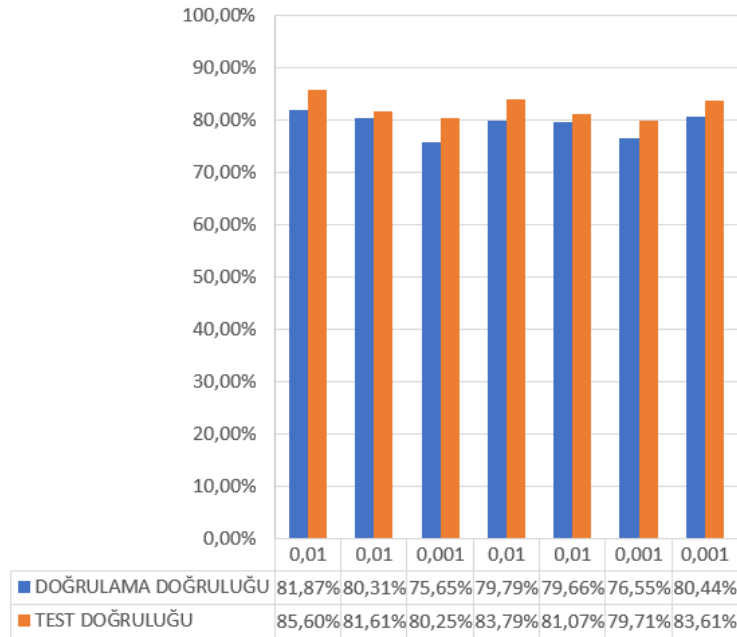
Şekil 7. Derin ağ mimarileri sonuçları – I(Results of deep network architectures -I)

Aynı mimariler öğrenme oranı 0,001'e düşürülerek tekrar uygulanmıştır. Sonuçlar doğrulama ve test doğruluk ölçütleri için karşılaştırılmıştır. Öğrenme oranı düşürüldüğünde GoogleNet, SqueezeNet ve AlexNet ağlarının performans ölçüt değerleri artarken, Inception, ShuffleNet, MobileNet-V2 ve DenseNet-201 ağlarının performans ölçüt değerleri azalmıştır.



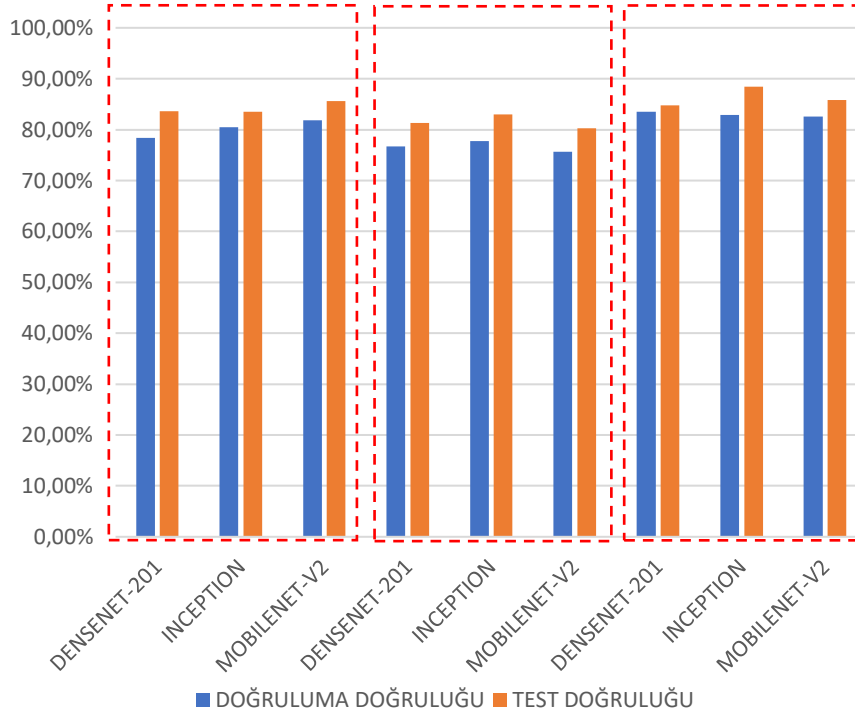
Şekil 8. Derin ağ mimarleri sonuçları – II (Results of deep network architectures - II)

Farklı DA mimarileri, doğrulama ve test verileri için elde edilen doğruluk ölçütlerine göre karşılaştırılmıştır. Şekil 7 ve Şekil 8’de bu sonuçlar verilmiştir. Şekiller incelendiğinde en iyi sonucu veren MobileNet-V2 mimarisi, öğrenme oranı ve maksimum epok sayısı parametrelerinin farklı değerleri için uygulanmıştır. Uygulama sonuçları Şekil 9’da sunulmuştur.



Şekil 9. Derin ağ mimarisi mobilenet-V2 sonuçları (Results of mobilenet-V2 from deep network architectures)

DA mimarileri ile yapılan son çalışmada, en yüksek 3 sonuca sahip mimariler dikkate alınmıştır. Bu mimariler DenseNet-201, Inception-V3 ve MobileNet-V2 için doğrulama sıklığı ve maksimum Epok parametreleri sırasıyla 50 ve 30 olarak ayarlanmış ve 4 farklı parametre değeri değiştirilmiştir. Doğrulama ve test doğruluk ölçütlerine bakılarak sonuçlar Şekil 10’da karşılaştırılmıştır.



Şekil 10. Derin ağ mimarleri sonuçları - III (Results of deep network architectures - III)

Aktarımlı öğrenme ile farklı DA mimarileri incelendiğinde bu mimarilerin eğitiminde kullanılan veri sayısı, bu çalışmada kullanılan veri sayısından daha fazla olduğu için derinliği DA mimarilerinden daha az olan bir ESA'nın tasarlamasına karar verilmiştir. Bunun için kullanılacak veriler DA mimarilerinde kullanılan ile aynıdır. Yine verilerin %70'i eğitim, %30'u test için kullanılmıştır. Eğitim için kullanılacak veriler, kullanılan paket program aracılığı ile %70'i eğitim ve %30'u doğrulama olmak üzere rastgele ayrılmıştır. Buradaki tek fark girdi görüntüsünün boyutlarıdır. Aktarımlı öğrenme ile kullanılan DA mimarilerinin yapılarına özel girdi boyutları olduğu için değiştirilemez. Ancak burada girdi boyutları, tasarımı yapan tarafından belirlenebilmektedir. Çok veri kaybı olmaması için 360 x 360 boyutlarına karar verilmiştir. Tasarlanan ESA'da katman sayısına karar verirken katman sayısı kademe kademe artırılarak sonuçlar incelenmiştir. Katman sayısına karar verdikten sonra öğrenme oranı, eğitim tur sayısı (epok) ve optimizasyon yöntemi parametreleri Tablo 4'teki farklı değerleriyle kullanılmıştır.

Tablo 4. Tasarlanan ESA parametreleri ve sonuçları - I (Results and parameters of designed convolutional neural network - I)

	Deneme	Öğrenme Oranı	Katman Sayısı	Maksimum Epok	Doğrulama Doğruluğu	Test Doğruluğu	Optimizasyon Yöntemi
TASARLANAN ESA	1	0,01	3	4	53,37%	49,73%	SGDM
	2	0,01	6	4	55,18%	61,14%	SGDM
	3	0,001	6	4	66,06%	64,76%	SGDM
	4	0,001	9	4	69,3%	72,64%	SGDM
	5	0,0001	9	4	68,78%	70,92%	SGDM
	6	0,0001	9	10	73,58%	74,73%	SGDM
	7	0,0001	9	10	69,17%	78,44%	ADAM
	8	0,0001	9	10	71,63%	75,27%	RMSPROP
	9	0,0001	9	20	72,02%	77,45%	RMSPROP
	10	0,0001	9	20	69,3%	74,37%	ADAM
	11	0,0001	9	20	71,11%	77,17%	SGDM
	12	0,0001	9	100	72,67%	76,54%	SGDM

En iyi sonucu veren mimarinin maksimum epok sayısı artırılarak denemeler yapılmıştır. Epok sayısının artırılmasıyla öğrenme işlemi çok kez tekrarlanır. Bu sayede mimarilerin farklı olasılıkları öğrenmesi ve yeni gelen görüntü için daha doğru sınıflandırma yapması beklenir. Ancak burada önemli olan nokta tasarlanan ağın ezberlemesinin önüne geçmektir. Bu deneme sonuçları doğrulama ve test doğruluk ölçütleri için karşılaştırılmıştır. Sonuçlar Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Tasarlanan ESA parametreleri ve sonuçları – II (Results and parameters of designed convolutional neural network – II)

	Deneme	Maksimum Epok	Doğrulama Doğruluğu	Test Doğruluğu	Optimizasyon Yöntemi
TASARLANAN ESA	1	10	69,17%	78,44%	ADAM
	2	20	69,3%	74,37%	ADAM
	3	30	68,01%	77,81%	ADAM
	4	40	71,63%	76,54%	ADAM
	5	50	71,11%	76,09%	ADAM
	6	60	70,47%	75,27%	ADAM
	7	70	72,67%	77,54%	ADAM
	8	100	74,22%	78,17%	ADAM
	9	150	71,76%	78,17%	ADAM
	10	200	71,76%	79,08%	ADAM
	11	250	71,37%	77,26%	ADAM
	12	300	71,24%	78,53%	ADAM
	13	400	71,37%	76,54%	ADAM

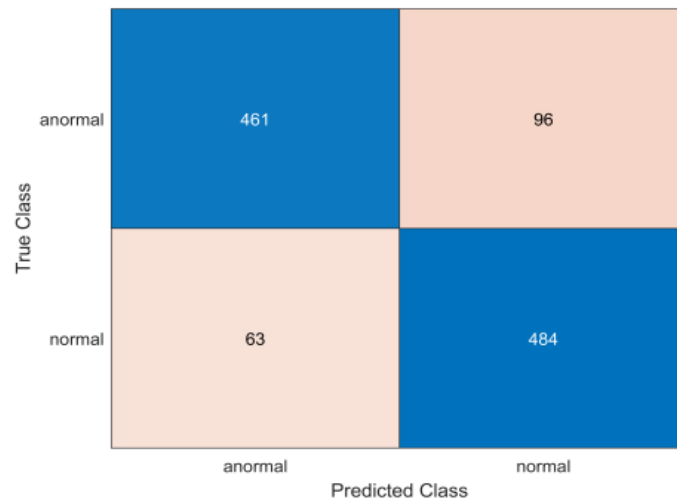
Bir sonraki adımda DA mimarilerinde sıklıkla kullanılan girdi boyutu olan 224 x 224 için denemeler yapılmıştır. Bu denemelerde daha önceki denemelerde en yüksek doğruluk sonucunu veren parametre değerleri, öğrenme oranı 0,0001 ve katman sayısı 9 olarak alınmıştır. Ancak Tablo 6'daki sonuçlar incelendiğinde önceki denemelerden daha iyi sonuç elde edilemediği görülmüştür. Bunun nedeni veri setindeki görüntülerin küçültülmesi ile özellikle kusurlu bölgeleri içeren veri kaybının artmasıdır.

Tablo 6. Tasarlanan ESA parametreleri ve sonuçları – III (Results and parameters of designed convolutional neural network – III)

	Deneme	Maksimum Epok	Doğrulama Doğruluğu	Test Doğruluğu	Optimizasyon Yöntemi
TASARLANAN ESA	1	30	68,78%	76,90%	ADAM
	2	50	67,36%	76,99%	ADAM
	3	70	71,63%	75,27%	ADAM
	4	100	74,09%	74,55%	ADAM
	5	150	70,73%	76,09%	ADAM
	6	200	69,56%	74,64%	ADAM

Kaynak araştırmasında yapılan DÖ çalışmalarında genellikle başarılı sonuçlar elde edilmektedir. Her ne kadar bu mimariler ve tasarlanacak yeni mimarilerin iyi sonuçlar vermesi beklense de bu durum veri setlerinin yapılarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bu çalışmada DÖ mimarilerinin uygulanmasının sebebi bu mimarilerin başarılı sonuçlar vermesinin yanında farklı veri setlerine uyum sağlayabilen mimariler olmasıdır.

Tüm sonuçlar incelendiğinde bu çalışmada kullanılan veri setine en uygun derin öğrenme mimarisinin Şekil 10'da sunulan 0,01 öğrenme oranı, 64 parti büyüklüğü ve SGDM optimizasyon yöntemi parametrelerine sahip Inception-V3 mimarisi olduğu görülmüştür. Çalışma kapsamında incelenen 8 mimari içerisinde en iyi sonucu hem doğrulama doğruluğu hem de test doğruluğu ölçütlerinde %80'nin üstünde bir başarıyla vermiştir.

**Şekil 11.** MobileNet-V2 derin ağ mimarisi karışıklık matrisi (Confusion matrix of mobilenet-V2 deep network architecture)

True Class	anormal	478	79
	normal	49	498
		anormal	normal
		Predicted Class	

Şekil 12. Inception-V3 derin ağ mimarisi karışıklık matrisi (Confusion matrix of inception-V3 deep network architecture)

Şekil 11'deki karışıklık matrisinde MobileNet-V2 mimarisinin test görüntüleri içerisindeki normal görüntülerin 63'ü anormal ve anormal görüntülerin 96'sı normal olarak görülmektedir. Şekil 12'deki karışıklık matriste ise Inception-V3 mimarisinin test görüntüleri içerisindeki normal görüntülerin 49'u anormal ve anormal görüntülerin 79'u normal olarak görülmektedir. Bu durumda mimarilerin anormal görüntüleri sınıflandırırken zorlandığı anlaşılmaktadır.

6. Sonuçlar ve Tartışma (Results and Discussion)

Son yıllarda teknolojik gelişmelerle birlikte rekabetin arttığı üretim sektörlerinde kalite kontrol faaliyetlerinde dijital sistemlerin kullanımı daha çok önem taşımaya başlamıştır. Kalite kontrol faaliyetleri ile hem piyasaya sunulan ürünün hem de üretiminin her aşamasının standartlaştırılması sağlanmaktadır. Bu sayede işgücü, ham madde ve/veya yarı mamul ve zaman kayıpları önlenmiş olur. Daha önce gözle ya da elle yapılan kontroller günümüzde dijital teknolojiler ile otomatik hale gelmektedir. Genel olarak, endüstri kullanıcıları, üretim sırasında olası tüm anormallikleri ve bunların görünümünü önceden bilemezler. Ahşap ham madde anormalliklerinin önceden tespit edilmesi ise son derece önemlidir.

Kaynak araştırmasına göre ahşap görüntü üzerindeki hatalı yüzeylerin belirlenmesi amacıyla yapılan tüm çalışmalar Tablo 1'de görülmektedir. Her bir çalışmada farklı veri seti kullanıldığından başarı açısından direkt bir karşılaştırma yapılamasa da bu alanda yapılan çalışmalara bakıldığında bu çalışmada ele alınan problem için bu yeni ve özgün veri seti ile de yüksek başarı elde edilebildiği görülmüştür. Öte yandan kaynak araştırmasında sunulan çalışmalarda kullanılan her veri seti için hedeflerin farklı alındığı görülmektedir. Her veri setine özgü farklı mimariler uygulanmış ve farklı başarı kriterleri dikkate alınmıştır. Bu nedenle bu çalışmada kaynaklarda var olan çalışmalarla bir karşılaştırma yapılamamıştır. Kaynak araştırmasında farklı başarı kriterleri için %80'nin üzerinde elde edilen doğruluğa sahip sonuçların ahşap görüntüler üzerinde yapılan çalışmalar için umut verici sonuç olarak yorumlandığı görülmüş olup ilerleyen çalışmalarda iyileştirilebileceği fikri oluşmuştur.

Bu çalışmada kullanılan veri seti için hazır DA mimarileri ile aktarımlı öğrenme gerçekleştirerek ön çalışmalar yapılmış ve performansları incelenmiştir. Son olarak bir ESA tasarlanmış ve değişik parametrelerde aldığı sonuçlar incelenmiştir. Tasarlanan mimaride katman sayısı azaltılsa da derin ağ yapısının sıfırdan eğitilmesi için çok fazla sayıda veriye ihtiyaç vardır. Aynı zamanda tasarlanan ESA, kaynaklardaki yüksek başarılar elde edilen diğer mimarilerle kıyaslandığında daha az sayıda katman sayısına sahip olması öğrenmeyi etkilemektedir. Bu nedenlerle aktarımlı öğrenme ile daha önceden eğitilmiş ağ parametrelerinin kullanılması, veri sayısının az olduğu uygulamalarda avantaj sağlamaktadır. Bu çalışmada kullanılan veri sayısının az olması nedeniyle derinliği nispeten daha az olan ağların daha başarılı sonuçlar verip vermediği de incelenmiştir. Yapılan çalışmalarda en iyi sonuçlar Inception-V3 mimarisi ile elde edilmiştir. Bu mimari ile doğrulama doğruluğu %82,91 ve test doğruluğu %88,41 olarak elde edilmiştir. Ayrıca MobileNet-V2 ve DenseNet-201 mimarilerinin de umut verici sonuçlar verdiği görülmüştür.

Sonuç olarak bu çalışmada İspanya'da Instituto Tecnológico de Informática (ITI)'da üretim hattında kalite kontrol amacı ile kullanılmak üzere enstitü tarafından elde edilmiş özel veri seti için hatalı-hatasız ayrımını yapacak bir model elde edilerek literatüre katkı sağlanmıştır. Bu veri seti artırılarak ileride yapılacak yeni çalışmalarda farklı

mimariler ve farklı parametreler dikkate alınarak performans üzerindeki etkileri incelenebilir. Bununla birlikte farklı mimarilerden öznelilikler çıkararak sınıflandırma performansları karşılaştırılabilir. Ayrıca görüntü iyileştirme ve çoğaltma tekniklerinin DA üzerindeki etkileri gözlemlenebilir.

Teşekkür (Acknowledgement)

ITI teknik araştırmacısı Javier Perez Soler ve ekibine veri setini paylaştıkları ve tüm sorularımızı yanıtladıkları için 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)

- Aparecido De França, C., & Gonzaga, A. (2005). Classification of Wood Plates by Neural Networks and Fuzzy Logic Image and Video Processing View project Detection of Architectural Distortion in Mammograms View project. *Computer Science*. <https://www.researchgate.net/publication/266290506>
- Cavalin, P., Oliveira, L. S., Koerich, A. L., & Britto, A. S. (2006). Wood defect detection using grayscale images and an optimized feature set. *IECON Proceedings (Industrial Electronics Conference)*, 3408-3412. <https://doi.org/10.1109/IECON.2006.347618>
- Deng, J., Dong, W., Socher, R., Li, L.-J., Kai Li, & Li Fei-Fei. (2009). ImageNet: A large-scale hierarchical image database. *2009 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 248-255. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2009.5206848>
- Ding, F., Zhuang, Z., Liu, Y., Jiang, D., Yan, X., & Wang, Z. (2020). Detecting defects on solid wood panels based on an improved SSD algorithm. *Sensors (Switzerland)*, 20(18), 1-17. <https://doi.org/10.3390/S20185315>
- Faura, Á. G., Štepec, D., Cankar, M., & Humar, M. (2021). Application of unsupervised anomaly detection techniques to moisture content data from wood constructions. *Forests*, 12(2), 1-19. <https://doi.org/10.3390/F12020194>
- Fawcett, T. (2004). ROC Graphs: Notes and Practical Considerations for Researchers. *Pattern Recognition Letters*, 31(8), 1-38. https://www.researchgate.net/publication/284043217_ROC_Graphs_Notes_and_Practical_Considerations_for_Researchers
- Fırıldak, K., & Talu, M. F. (2019). Evrimsel Sinir Ağlarında Kullanılan Transfer Öğrenme Yaklaşımlarının İncelenmesi. *Anatolian Journal of Computer Science - Anatolian Science*, 4(2), 88-95. <https://dergipark.org.tr/pub/bbd/issue/49546/527863>
- Fukushima, K. (1980). Neocognitron: A self-organizing neural network model for a mechanism of pattern recognition unaffected by shift in position. *Biological Cybernetics* 1980 36:4, 36(4), 193-202. <https://doi.org/10.1007/BF00344251>
- Gao, M., Chen, J., Mu, H., & Qi, D. (2021). A Transfer Residual Neural Network Based on ResNet-34 for Detection of Wood Knot Defects. *Forests* 2021, Vol. 12, Page 212, 12(2), 227. <https://doi.org/10.3390/F12020212>
- He, T., Liu, Y., Xu, C., Zhou, X., Hu, Z., & Fan, J. (2019). A fully convolutional neural network for wood defect location and identification. *IEEE Access*, 7, 123453-123462. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2937461>
- Hinton, G. E., Osindero, S., & Teh, Y. W. (2006). A Fast Learning Algorithm for Deep Belief Nets. *Neural Computation*, 18(7), 1527-1554. <https://doi.org/10.1162/NECO.2006.18.7.1527>
- Huang, G., Liu, Z., van der Maaten, L., & Weinberger, K. Q. (2017). Densely connected convolutional networks. *Proceedings - 30th IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, CVPR 2017, 2017-January*, 2261-2269. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2017.243>
- İnik, Ö., & Ülker, E. (2017). Derin Öğrenme ve Görüntü Analizinde Kullanılan Derin Öğrenme Modelleri. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, 6(3), 85-104. <https://dergipark.org.tr/pub/gbad/issue/31228/330663>
- Iandola, F. N., Han, S., Moskewicz, M. W., Ashraf, K., Dally, W. J., & Keutzer, K. (2016, Şubat 24). SqueezeNet: AlexNet-level accuracy with 50x fewer parameters and <0.5MB model size. *ICLR 2017*. <https://doi.org/10.48550/arxiv.1602.07360>
- Kamal, K., Qayyum, R., Mathavan, S., & Zafar, T. (2017). Wood defects classification using laws texture energy measures and supervised learning approach. *Advanced Engineering Informatics*, 34, 125-135. <https://doi.org/10.1016/J.AEI.2017.09.007>
- Karaca, B. K., Guney, S., Dengiz, B., & Agildere, M. (2021). Comparative Study for Tuberculosis Detection by Using Deep Learning. *2021 44th International Conference on Telecommunications and Signal Processing, TSP 2021*, 88-91. <https://doi.org/10.1109/TSP52935.2021.9522634>
- Kesici, B., & Yildiz, M. S. (2016). Kalite Kontrol Faaliyetlerinde Yapay Zekâ Kullanımı ve Bir Otomotiv Yan Sanayisinde Uygulanması. *Yalova Sosyal Bilimler Dergisi*, 6(12), 307-323. <https://dergipark.org.tr/pub/yalovasosbil/issue/27392/289024>
- Krizhevsky, A., Sutskever, I., & Hinton, G. E. (2017). ImageNet classification with deep convolutional neural networks. *Communications of the ACM*, 60(6), 84-90. <https://doi.org/10.1145/3065386>
- Mahram, A., Shayesteh, M. G., & Jafarpour, S. (2012). Classification of wood surface defects with hybrid usage of statistical and textural features. *2012 35th International Conference on Telecommunications and Signal Processing, TSP 2012 - Proceedings*, 749-752. <https://doi.org/10.1109/TSP.2012.6256397>
- Masci, J., Meier, U., Ciresan, D., Schmidhuber, J., & Fricout, G. (2012). Steel defect classification with Max-Pooling Convolutional Neural Networks. *Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks*. <https://doi.org/10.1109/IJCNN.2012.6252468>

- McCulloch, W. S., & Pitts, W. (1943). A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. *The Bulletin of Mathematical Biophysics* 1943 5:4, 5(4), 115-133. <https://doi.org/10.1007/BF02478259>
- Mohan, S., & Venkatachalapathy, K. (2012). Wood Knot Classification using Bagging. *International Journal of Computer Applications*, 51(18), 50-53. <https://doi.org/10.5120/8146-1937>
- Perez-Cortes, J. C., Perez, A. J., Saez-Barona, S., Guardiola, J. L., & Salvador, I. (2018). A System for In-Line 3D Inspection without Hidden Surfaces. *Sensors* 2018, Vol. 18, Page 2993, 18(9), 2993. <https://doi.org/10.3390/S18092993>
- Qayyum, R., Kamal, K., Zafar, T., & Mathavan, S. (2016). Wood defects classification using GLCM based features and PSO trained neural network. *2016 22nd International Conference on Automation and Computing, ICAC 2016: Tackling the New Challenges in Automation and Computing*, 273-277. <https://doi.org/10.1109/ICONAC.2016.7604931>
- Ren, R., Hung, T., & Tan, K. C. (2018). A Generic Deep-Learning-Based Approach for Automated Surface Inspection. *IEEE Transactions on Cybernetics*, 48(3), 929-940. <https://doi.org/10.1109/TCYB.2017.2668395>
- Rumelhart, D. E., Hinton, G. E., & Williams, R. J. (1986). Learning representations by back-propagating errors. *Nature* 1986 323:6088, 323(6088), 533-536. <https://doi.org/10.1038/323533a0>
- Russakovsky, O., Deng, J., Su, H., Krause, J., Satheesh, S., Ma, S., Huang, Z., Karpathy, A., Khosla, A., Bernstein, M., Berg, A. C., & Fei-Fei, L. (2015). ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge. *International Journal of Computer Vision*, 115(3), 211-252. <https://doi.org/10.1007/S11263-015-0816-Y/FIGURES/16>
- Ruz, G. A., & Estévez, P. A. (2005). Image segmentation using fuzzy min-max neural networks for wood defect detection. *Intelligent Production Machines and Systems-First I* PROMS Virtual Conference: Proceedings and CD-ROM Set*, 183-189. <https://www.researchgate.net/publication/236586295>
- S. Shahnorbanun, S.A.Siti Nurul Huda, A. Haslina, O. Nazlia, & H. Rosilah. (2010). A Computational Biological Network for Wood Defect Classification. *Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science*, 559-563. http://iaeng.org/publication/WCECS2010/WCECS2010_pp559-563.pdf
- Sandler, M., Howard, A., Zhu, M., Zhmoginov, A., & Chen, L. C. (2018). MobileNetV2: Inverted Residuals and Linear Bottlenecks. *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 4510-4520. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2018.00474>
- Ser, G., & Bati, C. T. (2019). Derin Sinir Ağları ile En İyi Modelin Belirlenmesi: Mantar Verileri Üzerine Keras Uygulaması. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 29(3), 406-417. <https://doi.org/10.29133/YYUTBD.505086>
- Silvén, O., Niskanen, M., & Kauppinen, H. (2003). Wood inspection with non-supervised clustering. *Machine Vision and Applications* 2003 13:5, 13(5), 275-285. <https://doi.org/10.1007/S00138-002-0084-Z>
- Szegedy, C., Liu, W., Jia, Y., Sermanet, P., Reed, S., Anguelov, D., Erhan, D., Vanhoucke, V., & Rabinovich, A. (2015). Going deeper with convolutions. *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 07-12-June-2015*, 1-9. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2015.7298594>
- Szegedy, C., Vanhoucke, V., Ioffe, S., Shlens, J., & Wojna, Z. (2016). Rethinking the Inception Architecture for Computer Vision. *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2016-December*, 2818-2826. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2016.308>
- Toğaçar, M., Ergen, B., & Özyurt, F. (2020). Evrimsel Sinir Ağı Modellerinde Özellik Seçim Yöntemlerini Kullanarak Çiçek Görüntülerinin Sınıflandırılması. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 32(1), 47-56. <https://doi.org/10.35234/FUMBD.573630>
- Urbonas, A., Raudonis, V., Maskeliunas, R., & Damaševičius, R. (2019). Automated Identification of Wood Veneer Surface Defects Using Faster Region-Based Convolutional Neural Network with Data Augmentation and Transfer Learning. *Applied Sciences* 2019, Vol. 9, Page 4898, 9(22), 4918. <https://doi.org/10.3390/APP9224898>
- Wu, S. Y., Zhang, Z., & Feng, L. (2009). Statistical feature representations for automatic wood defects recognition research and applications. *PACIA 2009 - 2009 2nd Asia-Pacific Conference on Computational Intelligence and Industrial Applications*, 1, 19-22. <https://doi.org/10.1109/PACIA.2009.5406462>
- Zhang, X., Zhou, X., Lin, M., & Sun, J. (2018). ShuffleNet: An Extremely Efficient Convolutional Neural Network for Mobile Devices. *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 6848-6856. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2018.00716>



A CASE STUDY FOR PREVENTING ELECTRICITY OVER-CONSUMPTION USING DEEP LEARNING IN TEXTILE INDUSTRY

Hakan YURDOGLU, Omer GULEC*

Pamukkale University, Department of Management Information Systems, Denizli, Türkiye

Keywords

Deep Learning,
LSTM,
Sliding Window Technique,
Electricity Consumption,
Textile Industry.

Abstract

Resources are the most critical input in the manufacturing industry therefore, resource consumption is an essential issue to be minimized. On the other hand, consumption depends on several parameters thus, it is difficult to estimate. Recently, Machine Learning (ML) and Deep Learning (DL) are powerful Artificial Intelligence (AI) subdomains for future prediction in any area. In this paper, a DL-supported electricity prediction method is designed for the textile industry as a case study in order to prevent resource over-consumption while the machines are in the standby state. This method provides dynamic consumption thresholds of electricity consumption by sliding window technique based Long-Short Term Memory (LSTM) model that helps the machines to interrupt manufacturing in their decision. These calculated thresholds are also compared with the results of Recurrent Neural Networks (RNN) and Gated Recurrent Units (GRU) as the other DL methods and Automated Regressive Integrated Moving Average (ARIMA) as a traditional method and then the results have been analyzed how close they are to real-time electricity consumption data at standby. According to the results, the LSTM model successfully predicts electricity consumption levels, sends an interrupt signal to Programmable Logic Controller (PLC) unit when the consumption levels reach the threshold and therefore prevents resource over-consumption.

TEKSTİL ENDÜSTRİSİNDE DERİN ÖĞRENME KULLANARAK AŞIRI ELEKTRİK TÜKETİMİNİN ÖNLENMESİNE YÖNELİK BİR VAKA ÇALIŞMASI

Anahtar Kelimeler

Derin Öğrenme,
UKSB,
Kayan Pencere Tekniği,
Elektrik Tüketimi,
Tekstil Endüstrisi.

Öz

Endüstrinin en kritik girdileri kaynaklardır ve bu nedenle kaynak tüketimi endüstriyel süreçlerde en aza indirilmesi gereken önemli bir konudur. Öte yandan, kaynak tüketimi birçok parametreye bağlı olduğu için tahmin edilmesi zordur. Son dönemlerde, Makine Öğrenmesi (MÖ) ve Derin Öğrenme (DÖ) kavramları, herhangi bir alanda gelecek tahmini için kullanılan güçlü Yapay Zeka alt alanlarıdır. Bu çalışmada tekstil endüstrisi için bir vaka çalışması olarak, makinelerin bekleme durumunda aşırı kaynak tüketimini önlemek amacıyla DÖ destekli bir elektrik tahmin modeli tasarlanmıştır. Bu yöntem, makinelerin karar verme süreçlerini içeren ve aşırı tüketime nedeniyle üretimi kesintiye uğratmasına yardımcı olan Uzun-Kısa Süreli Bellek (UKSB) tabanlı kayan pencere tekniği sayesinde elektrik tüketiminin saatlik dinamik eşik değerlerini tahminlemektedir. Hesaplanan eşik değerleri, Tekrarlayan Sinir Ağları (TSA) ve Kapılı Tekrarlayan Birimler (KTB) gibi diğer Derin Öğrenme yöntemleri ve geleneksel bir yöntem olan Otomatik Regresif Entegre Hareketli Ortalama (ARIMA) yöntemi ile karşılaştırılmış, elde edilen sonuçların makinelerin bekleme durumundaki gerçek zamanlı elektrik tüketim verilerine ne kadar yaklaştığı analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, UKSB modeli elektrik tüketim seviyelerini başarılı bir şekilde tahmin etmekte, tüketim seviyeleri eşige ulaştığında Programlanabilir Mantık Denetleyicisi (PMD) ünitesine durma sinyali göndermekte ve bu sayede aşırı kaynak tüketimini engellemektedir.

Alıntı / Cite

Yurdoglu, H., Gulec, O., (2023). A Case Study for Preventing Over-Consumption of Electricity using Deep Learning in Textile Industry, Journal of Engineering Sciences and Design, 11(4), 1383-1397.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

H. Yurdoglu, 0000-0003-3320-2429
O. Gulec, 0000-0002-7657-3230

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	02.06.2023
Revizyon Tarihi / Revision Date	31.07.2023
Kabul Tarihi / Accepted Date	11.09.2023
Yayın Tarihi / Published Date	30.12.2023

* İlgili yazar / Corresponding author: omer@pau.edu.tr, +90-258-296-2807

A CASE STUDY FOR PREVENTING ELECTRICITY OVER-CONSUMPTION USING DEEP LEARNING IN TEXTILE INDUSTRY

Hakan YURDOGLU, Omer GULEC †

Pamukkale University, Department of Management Information Systems, Denizli, Türkiye

Highlights

- Resources are the most critical input for the manufacturing industry therefore resource consumption should be minimized.
- Deep Learning is a powerful subdomain of artificial intelligence to predict resource consumption over time-series data taken from textile machines.
- The proposed model prevents electricity over-consumption using LSTM and Sliding Window technique.
- This study offers a different perspective from other studies focusing on the energy consumption of machines in their standby state.

Purpose and Scope

This paper proposes a Deep Learning-supported electricity prediction method for the textile industry as a case study in order to prevent resource over-consumption while the machines are in stanby state. The proposed study offers a new perspective to the existing literature by focusing on the standby electricity energy consumption of textile machines and emphasizes that standby energy consumption is an overlooked area and long waiting times can lead to huge costs. The results of this study have the potential to contribute to the studies in the field of energy efficiency, as well as to reduce the energy costs of enterprises and achieve their sustainability goals.

Design/methodology/approach

In this paper, an LSTM-based sliding window (SW) supported DL model is proposed in order to predict standby electricity threshold values for preventing resource over-consumption in the textile industry. Within the scope of this case study, an AI application that processes the electricity consumption values of the mercerization machine in a textile company between 2021 and 2023 with an SW-supported LSTM-based method has been developed. The proposed method predicts upcoming 4-hour consumption thresholds of electricity, learning from the past 96-hour time series that helps the machines to stop manufacturing if needed by sending an interrupt signal to the PLC unit when the consumption levels reach these thresholds. The proposed model was developed on real-time data taken from the textile machines, the training and testing of the model were provided with this data, the predictions of the model were compared with the real-time data, the errors of the model were eliminated and it was optimized to obtain more realistic predictions. In order to measure the efficiency of the proposed LSTM model on electricity consumption time-series data of the textile machines, the results are compared with the results of Recurrent Neural Networks (RNN), Gated Recurrent Units (GRU) and Automated Regressive Integrated Moving Average (ARIMA) methods for the same dataset then the results are analyzed.

Findings

The realtime results show that the proposed model successfully predicts threshold levels of electricity values for preventing over-consumption of the textile machines on their standby state. Additionally, the proposed model is a powerful tool for controlling the productivity of these textile machines.

Originality

As in this case study, to the best of our knowledge, there exists no LSTM based DL supported electricity consumption model using SW technique in the literature for the textile manufacturing industry, in order to prevent over-consumption of electricity of the machines in their standby state by sending an interrupt signal to the Programmable Logic Controller (PLC) unit when the consumption levels reach the predicted thresholds. The real-time data is taken from mercerization machines of a textile company during their manufacturing processes.

1. Introduction

In today's world, factories and their processes are getting smarter day by day thanks to recent intelligent technologies. The most important factors to be "smart" for factories are the automation of their processes, the possibility of unmanned production, the inclusion of robots in the processes, the development of sensor technologies and most importantly the decision-making of the machines (González García et al., 2019). These learning and decision-making processes of the machines are called Machine Learning (ML) and Deep Learning

† Corresponding author: omer@pau.edu.tr, +90-258-296-2807

(DL) which are the subdomains of the Artificial Intelligence (AI) domain (Forootan et al., 2022).

In order to produce their products, factories need different resources in various processes. The very first need is energy which is a critical parameter for the industry due to its expense therefore, the resources should be used optimally. This is an essential but difficult issue in predicting the energy need in the industry to be considered (Wang et al., 2020). On the other hand, the resource over-usage may cost much hence it should not be higher than the price of each product. To overcome this problem, there are many consumption prediction methods have been proposed in the literature.

Predicting energy consumption may lead to an increase in manufacturing processes. In the literature, there are several ways to save energy. Recently, one of the most emerging ways of energy saving in industrial processes is minimizing energy consumption using AI-supported technologies. Related to this, DL methods are the main solutions to predict energy consumption that help the enterprise for managing all processes. Besides, while the resource consumption data is in a continuous form, these prediction methods need to be considered in the time series domain. Therefore, long short-term memory (LSTM) is a powerful DL method that is working well on periodic data for forecasting long-term trends (Fagerstrom et al., 2019).

While the industrial processes are being adopted by Industry 4.0 with the support of Industrial Internet of Things (IIoT), the textile industry benefits more from ML and DL techniques recently in supply chain decision-making, product quality, production scheduling, product engineering and such areas (Arora and Majumdar, 2022). Not only today but also in the future, IIoT will be in touch with AI technologies for smart industries (Milic et al., 2023). Therefore, in this paper, an LSTM-based Sliding Window (SW) supported DL model is proposed in order to predict electricity threshold values for preventing resource over-consumption in the textile industry. Within the scope of this case study, an AI application that processes the electricity consumption values of the mercerization machine in a textile company between 2021 and 2023 with an SW-supported LSTM-based method has been developed. If the electricity consumption values reach the predicted threshold values, the proposed model sends an interrupt signal to the PLC of the machine.

This study offers a different perspective from other studies focusing on the energy consumption of machines. Generally, while the energy consumption of the machines is examined during active operation, the energy consumption situation is ignored while the machines are in the standby state. This study emphasizes the importance of the energy consumed while the processes are paused and draws attention to a potential that can cause great costs. Considering the situations where the waiting time can be long, it is important to examine the energy consumption not only during active operation but also while waiting. How long the machine spends in the standby state is a critical factor in determining energy costs and increasing operating efficiency. Therefore, this study shows that taking certain precautions as a result of analyses on standby energy consumption can avoid large-scale costs. Optimizing energy consumption and managing it efficiently, especially when waiting is required, can reduce the costs of textile enterprises and contribute to their sustainability goals.

The proposed model aims to prevent excessive use of electrical energy in the production processes of the textile company, where resources are valuable and resource use is critical. The proposed model was developed on real-time data taken from the textile machines, the training and testing of the model were provided with this data, the predictions of the model were compared with the real-time data, the errors of the model were eliminated and it was optimized to obtain more realistic predictions. In order to measure the efficiency of the proposed LSTM model on electricity consumption time-series data of the textile machines, the results are compared with the results of Neural Networks (RNN) and Gated Recurrent Units (GRU) as the DL methods and Automated Regressive Integrated Moving Average (ARIMA) as a traditional method for the same dataset then the results are analyzed.

To the best of our knowledge as in this case study, there exists no LSTM-based DL-supported electricity consumption model using the SW technique in the literature for the textile manufacturing industry, in order to prevent electricity over-consumption by sending an interrupt signal to the Programmable Logic Controller (PLC) unit when the consumption levels reach the predicted thresholds for the machines are in the standby state. The proposed model also provides continuous prediction values as the time series while adding real-time data to its training process.

The contributions of this study are;

- The proposed DL model predicts the electricity consumption thresholds of a mercerization machine in a textile enterprise using LSTM method while the machines are in the standby state.
- Using SW technique allows the model to learn from the predicted thresholds therefore, the learning process stays continuous.
- The proposed model sends an interrupt signal to the PLC unit of the textile machine even if its electricity consumption reaches the predicted thresholds therefore it prevents the machines from energy over-

- consumption by the predicted thresholds.
- With this developed model, even when the machine is in the standby state, it also helps to find out a possible malfunction whether it consumes more than it should.
- The proposed model can help textile enterprises to reduce energy resource and machine maintenance costs and to contribute to their sustainability goals.

The rest of the paper is organized as follows. Literature survey on energy, ML, DL, LSTM, SW and the textile industry are summarized in Section 2. Problem definitions and the proposed model of the current study are given in Section 3. The experimental results of the study are given in Section 4. Finally, Section 5 concludes the study.

2. Literature Survey

The smartening of industrial machines is possible when artificial intelligence and IoT fields become an inseparable whole under the Industry 4.0 concept. Machine learning and deep learning are artificial intelligence subdomains that are frequently preferred in the IoT ecosystem.

In the industry, the resources are valuable therefore, energy consumption is a key factor to be minimized. To this end, Yucesan et al. (2021) proposed a daily natural gas consumption prediction framework on the data in the case of Turkey using regression, time series, ML and metaheuristics. Malakouti et al. (2022) proposed a novel ML algorithm to predict wind turbine power by randomized trees, light gradient boosting machine and the LSTM method. Similarly, Ikeda and Nagai (2021) proposed an optimization method for central energy (power, air conditioning and hot water) and storage systems of buildings using ML and metaheuristics. Besides, the price of energy is an essential issue to be considered in economics. To this end, Yang et al. (2022) suggest an improved model for predicting electricity prices using ML techniques.

Besides, in the literature, there are many models used for electricity consumption prediction such as autoregressive integrated moving average (ARIMA), autoregressive moving average (ARMA) and linear regression models (Lee et al. 2022). In addition, Albuquerque et al. (2022) compared traditional models with ML models for the prediction of electricity consumption using a high-dimensional dataset. According to their work, ML models such as Random Forest outperforms the benchmark models. Oprea et al. (2021) proposed an unsupervised ML technique in order to detect anomalies in the time series of electricity consumption values by analyzing large datasets of smart meters in Ireland. For smart farming, Shine et al. (2018) analyzed the performance of ML techniques such as random forest, decision tree, ANN and support vector machines on electricity and water consumption of Irish dairy farms. Mirandola et al. (2021) reviews the performance of ML methods such as Gradient Boosting (GB), Random Forest (RF), Kernel Ridge and Artificial Neural Networks (ANN) for the prediction of energy consumption in metal forming and radial-axial ring rolling processes. Awan et al. (2022) proposed a supervised ML-based energy consumption prediction model using regression, regression trees and ANN for cut-off grinding of oxygen-free copper which has high energy consumption rates in the industry.

For predicting the long-term values of time series data, LSTM-based methods have been widely used in the literature. Fagerstrom et al. (2019) proposed an LSTM-based algorithm for early detection of septic shock namely LiSEP LSTM using Keras and TensorFlow. LiSEP LSTM has been trained with the health data containing vital signs and laboratory data received from 59 thousand of patients that predicts upcoming septic shock up to 40 hours before. Alazab et al. (2020) proposed a multidirectional LSTM model for predicting the stability of a smart grid. The results have been compared with Gated Recurrent Units (GRU), traditional LSTM and Recurrent Neural Networks (RNN) methods which have 99% accuracy compared to the other methods. Wang et al. (2020) proposed a novel model using LSTM for predicting energy consumption periodically on a cooling system. Their proposed model outperforms the other models such as ARMA, ARFIMA and BPNN.

In time series SW technique is also useful for several cases. To this end, Bhatt et al. (2022) proposed an SW-supported DL model for solar irradiance forecasting that is useful for controlling, managing and optimizing the power generation in microgrids. Chen et al. (2022) proposed an LSTM model supported by SW to predict rainfall distribution levels in two cities, Rize and Konya, in Turkey using monthly data in 41 years range. Similarly, Kulanuwat et al. (2021) designed an LSTM model using SW technique for anomaly detection on hydrological time series data. Sun et al. (2022) proposed a Support Vector Machine (SVM) based SW-supported model for predicting desert locust presence in Somalia, Ethiopia and Kenya using the data from 2000 to 2020.

Sensor technologies have a close relationship with the textile industry, especially in body sensor networks. For instance, Fang et al. (2021) developed ML assisted wearable waterproof textile sensor for monitoring pulse and cardiovascular condition. Vu and Kim (2018) provided an ML-supported model of human motion recognition by wearable textile sensors. Similarly, the textile industry also benefits from artificial intelligence technologies day by day. Consequently, demand for the products needs to be predicted for better manufacturing. Therefore, Yasir

et al. (2022) investigated the significance of endogenous and exogenous indicators of demand forecasting for the textile industry using ML models such as linear regression (LR), support vector regression (SVR) and LSTM. Medina et al. (2022) proposed an ML model including regression, SVR and KNN in order to predict demand forecasting in the textile industry. Güven and Şimşir (2020) designed an ML model using color parameters including ANN and SVR for demand forecasting in the textile industry. Majumdar et al. (2022) developed a Genetic Algorithm (GA) supported hybrid ML-based model to predict cotton properties using ANN.

3. Material and Method

3.1. Deep Learning Model

Deep Learning (DL) is a branch of ML that can solve complex problems by mimicking the human brain and this structure is called Artificial Neural Networks (ANN) which is a common algorithm for DL. Besides, Convolutional Neural Network (CNN), RNN, LSTM, Wavelet Neural Network (WNN), Deep Belief Neural Network (DBN), Radial Basis Function (RBF) algorithms are the members of the DL domain (Foorotan et al., 2022).

LSTM is a very effective algorithm in DL space that can successfully predict values on time series data (Garg and Alam, 2020). In other words, LSTM is an artificial neural network belonging to the RNN family, where the traditional feed-forward neural network receives data only from the input node and the data only proceeds from the input layer to the hidden layer and finally to the output layer (Agga et al., 2022). To be more specific, an LSTM cell is given in Figure 1. According to the figure, an LSTM cell is formed by an input gate (i), a forget gate (f) and an output gate (o). The input gate includes \tanh function ranging from -1 to 1 and it takes the input data (x_t) and previous cell output (h_{t-1}) and C_{t-1} values for processing. Similarly, the forget gate includes σ and \tanh as the activation functions. The output gate determines the output data (Chen et al., 2022; Alazab et al., 2020; Yasir et al., 2022).

The gates of an LSTM cell can be summarized as follows (Rani et al., 2022; Sundar and Patchaiammal, 2022);

1. Forget Gate: It is responsible for the decision about the information that should be kept or removed from the cell state.
2. Input Gate: In this gate, the input data is decided by the sigmoid function where \tanh function is used for the connection of possible values of input data. Both sigmoid and \tanh functions update cell state.
3. Output Gate: It is the final part of the cell where the sigmoid function decides the cell state to be passed as the output.

All of the equations used in Figure 1 are given in Equation [1 – 6] where σ is the sigmoid function, b is the bias value for the gates and W is the weight.

$$i_t = \sigma(W_i \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_i) \quad (1)$$

$$f_t = \sigma(W_f \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_f) \quad (2)$$

$$o_t = \sigma(W_o \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_o) \quad (3)$$

$$\tilde{C}_t = \tanh(W_C \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_C) \quad (4)$$

$$C_t = f_t \otimes C_{t-1} + i_t \otimes \tilde{C}_t \quad (5)$$

$$h_t = o_t \otimes \tanh(C_t) \quad (6)$$

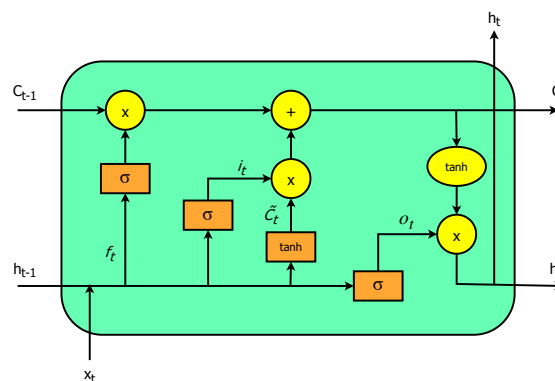


Figure 1. An illustration of LSTM cell

3.2. Sliding Window Approach

The Sliding Window (SW) is a useful technique for predicting values in ANN-based networks, LSTM in this study, that process a fixed range of previously observed values as input data and predicts the next values of the time series as output data then includes this predicted value to the next input data while removing same fixed size of values from initial data (Vafaeipour et al., 2014) which is also known as Rolling Window technique. To be more clear, an illustration of the Sliding Window technique is given in Figure 2. According to the figure, the data from t_0 to t_n is used for training and the predicted values from t_n to t_{n+a} is generated according to this range. The size of the window is therefore $s_w = t_n - t_0 = n$ and the size of prediction is $s_p = t_{n+a} - t_n = a$. In the next step, the predicted values are included in the data. Therefore, for sliding the window to the right, the initial values from t_0 to t_a will be removed in order to save window size where it is calculated as $s_{sw} = t_a - t_0 = a$ after sliding. With this technique, the upcoming values can be predicted by learning from the previous values on time series data.

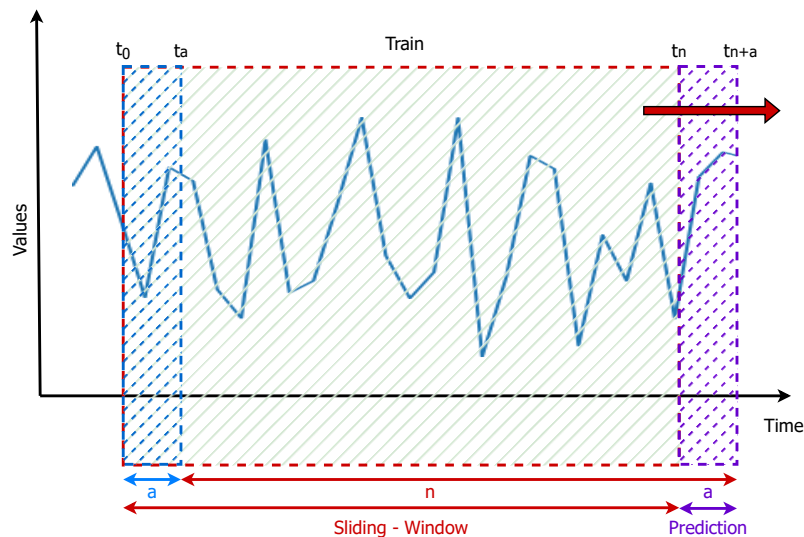


Figure 2. An illustration of the sliding window technique

3.3. Proposed Method

According to the data taken from the textile machines, LSTM is chosen for resource consumption prediction in a textile factory due to its memory layer for the time series of electricity usage. In this case study, the LSTM model is used with the SW technique in order to calculate the predicted thresholds of each resource consumption value based on prior information. These thresholds are predicted by the LSTM model after learning the resource consumption values of the last 96-hour time series. The flowchart of the proposed method is given in Figure 3.

When the proposed model initializes, the electricity consumption values are obtained from the mercerization machine. In the first step, as in every ML model, the proposed model analyzes the data and cleans it. In the second step, the proposed model is training the past 96-hour time series in order to predict upcoming 4-hour electricity consumption threshold values using the LSTM model and SW technique.

In the third step, these predicted values are stored in the PLC unit of the textile company. When these 4-hour time series begin, the PLC unit checks the real-time electricity consumption values against the predicted thresholds. If the real-time consumption values reach the predicted threshold values in this 4-hour time span, the proposed model sends an emergency signal to the PLC unit to interrupt the process. If the consumption values do not reach the predicted thresholds after a 4-hour time span, the proposed model includes these 4-hour electricity consumption values at the end of the data without sending an interruption signal.

In the last step, the proposed model removes the initial 4-hour values from the beginning of the data after including the 4-hour prediction values. This makes the window slide from the beginning to the end while it saves fixed window size which is a 96-hour time span. In fact, if the consumption values reach the predicted consumption values or not, the model includes the real-time consumption values at the end of the data in order to learn from the past values using the SW technique. Therefore, learning, training and prediction steps become the continuous processes of the proposed model.

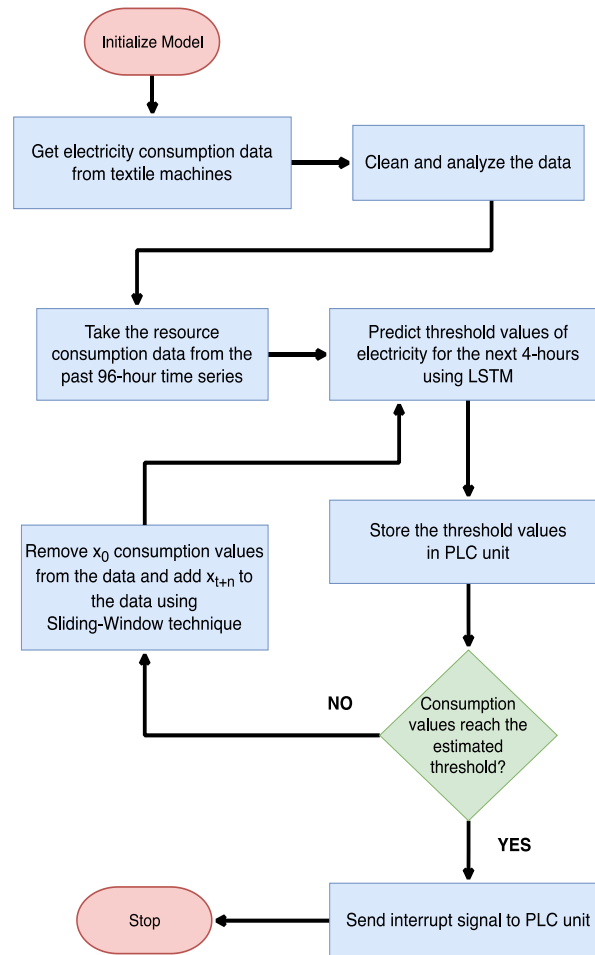


Figure 3. Flowchart of the proposed LSTM model



Figure 4. Mercerization machine 117 which executes the proposed LSTM model in the case study

The electricity consumption values obtained from a sample mercerization machine which is numbered 117 in the enterprise as shown in Figure 4, have been analyzed by Entes MPR63 energy analyzer. The electricity signals taken from the energy analyzer have been transferred to Siemens S7-1200 PLC devices. After that, these PLC devices transmit electricity information over CAT-6 ethernet cable using network switches and Profinet communication protocol to the main network of the enterprise. Then, the data collected through the application written with .NET technology is transferred to the server which has the MSSQL databases where the electrical energy consumption values of all machines are stored. Finally, the DL model proposed in this case study is also executed on this server to predict upcoming electricity threshold values. After predicting the next 4-hour electricity consumption values, this threshold data has been sent back to the PLC unit in order to compare electricity consumption values. If the

consumption values reach the threshold value, the proposed method sends the interrupt signal to the PLC unit. The PLC unit and energy analyzer are given in Figure 5, respectively.

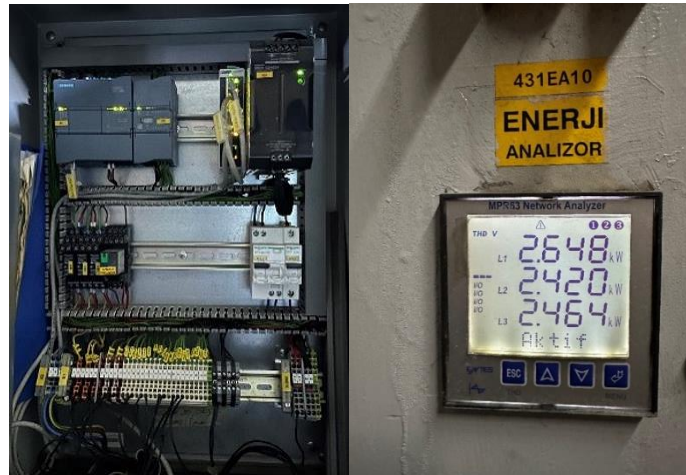


Figure 5. Siemens S7-1200 PLC unit (left)

Table 1. Data set of electricity consumption values

Date	Total Electricity Consumption Values (kWh)	Unit Electricity Consumption Values (kWh)	Standby Time (min)
01.01.2021 00:00	3.99989	0.01674	238.90000
01.01.2021 04:00	3.99989	0.01692	236.40000
01.01.2021 08:00	2.99987	0.01265	237.20000
01.01.2021 12:00	3.99994	0.01696	235.80000
01.01.2021 16:00	2.99991	0.01254	239.20000
...
23.03.2023 20:00	13.00000	0.30374	42.80000
24.03.2023 00:00	24.00000	0.26667	90.00000
24.03.2023 04:00	30.00000	0.24000	125.00000
24.03.2023 08:00	25.00000	0.11236	222.50000
24.03.2023 12:00	17.00000	0.35343	48.10000

Date	Weekly Electricity Consumption Values (kWh)
03.01.2021	0.01421
10.01.2021	0.10472
17.01.2021	0.07343
24.01.2021	0.16620
31.01.2021	0.10874
...	...
19.02.2023	0.12097
26.02.2023	0.06737
05.03.2023	0.11580
12.03.2023	0.09221
19.03.2023	0.27037

Date	Normalized Electricity Consumption Values
01.01.2021 00:00	0.01289
01.01.2021 04:00	0.01321
01.01.2021 08:00	0.00538
01.01.2021 12:00	0.01329
01.01.2021 16:00	0.00519
...	...
23.03.2023 20:00	0.53867
24.03.2023 00:00	0.47075
24.03.2023 04:00	0.42190
24.03.2023 08:00	0.18806
24.03.2023 12:00	0.62970

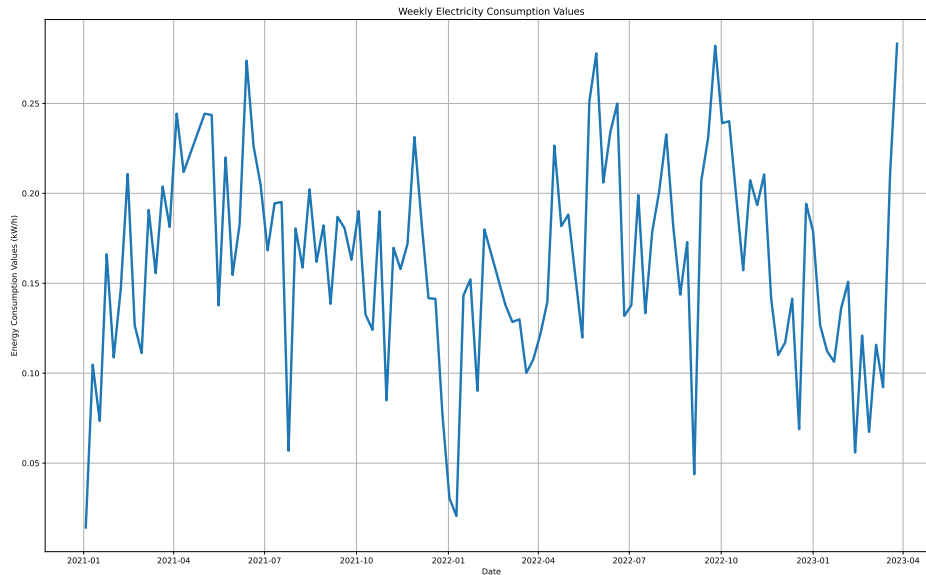


Figure 6. Weekly electricity consumption values of textile machines between January 2021 to April 2023

In this case study, the prediction model is developed with Python. Besides, several Python libraries are used for cleaning the data, mathematical calculations, training the model and predicting thresholds. To this end, Keras and Scikit-learn are used for teaching and training the LSTM model, Numpy and Pandas are used for statistical calculations and Matplotlib is used for generating the graphics. The data is taken from a mercerization machine, which is given in a weekly form between 01.01.2021 and 24.03.2023 in Figure 6, where the data consists of 15706 lines of electricity consumption values. For the SW technique on this time series data, the past 96 hours are processed with the model to predict the upcoming 4 hours. The dataset used in this case study is given in Table 1.

For the LSTM model, the number of epochs is 15, the learning rate is 0.005, the train size is 80% and the test size is 20% of the data. In order to determine these parameters, the trial and error method was used then the most suitable parameters were found in terms of performance, time and accuracy. However, Hyperparameter Tuning is not preferred in this study due to its time consuming, resource and computational requirements. Moreover, the Adam optimizer used in this study optimizes the training process by updating these hyperparameters. There are 2 hidden layers that are also used for the model. For a better model, Rectified Linear Unit (ReLU) is used as an activation function and Mean Absolute Error (MAE) is used as a loss function. In order to measure the efficiency of the proposed model, the prediction values are also generated using RNN and GRU models using the same data for comparison. All parameters of the proposed model are given in Table 2.

Table 2. LSTM model parameters

Deep Learning Model	LSTM with Sliding Window (SW)
Resource Type	Electricity
Type of Textile Machine	Mercerization
PLC	Siemens S7-1200
Energy Analyzer	Entes MPR63
Data Size	15706
Data Range	01.01.2021 to 24.03.2023 (812 days or 19488 hours)
Test Data Range	18.10.2022 to 24.03.2023 (162 days or 3768 hours)
Sliding Window Size	Past 96 hours
Prediction Size	Upcoming 4 hours
Number of Epochs	15
Learning Rate	0.005
SEED	123
Dropout Rate	0.1

Batch Size	128
Train Size	80%
Test Size	20%
Number of Hidden Layers	2
Activation Function	Rectified Linear Unit (ReLU)
Loss Function	Mean Absolute Error (MAE)
Optimizer	Adam
Comparison Models	RNN,GRU and ARIMA
Development Environment	Python
Packages	Scikit-learn, Keras, Pandas, Numpy, Matplotlib

4. Experimental Results

After the training process, the electricity consumption data between 18.10.2022 and 24.03.2023 are applied to the proposed LSTM model for the prediction where the range of the test data is 162 days or 3768 hours. In order to compare the predicted values with the actual values, the predicted values were converted to the original scales. Thus, the prediction values of the test data set will be reached on a real scale. In other words, the predicted values of the target variable based on the input data in the test data set of the model are reversed by the inverse scaling method. The real-time electricity consumption values and the predicted consumption threshold values of the proposed LSTM model are given in Figure 7.

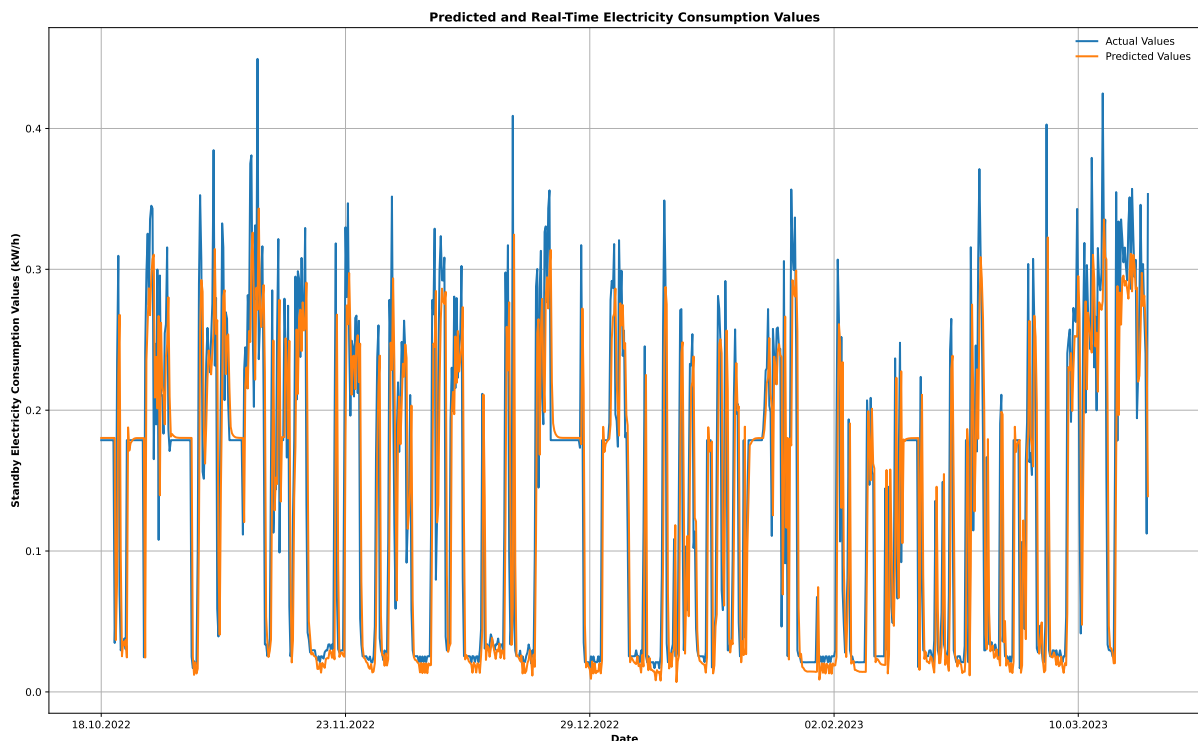


Figure 7. Real-time electricity consumption values and predicted threshold values using the proposed LSTM model

For testing the model performance, accuracy, success and comparison, the same data is also applied to RNN and GRU models using SW technique. In addition, this time series data is applied to the ARIMA model in order to compare the predictions obtained by the traditional methods with the results obtained by the DL methods. The real-time electricity consumption values and the predicted consumption threshold values by the GRU, RNN and ARIMA models are given in Figure 8, Figure 9 and Figure 10, respectively. According to the results, the proposed LSTM model predicts the threshold values closer to the actual values than the other DL models as RNN and GRU. On the other hand, it is observed that the ARIMA model obtains lower prediction results compared to DL models used in this study.

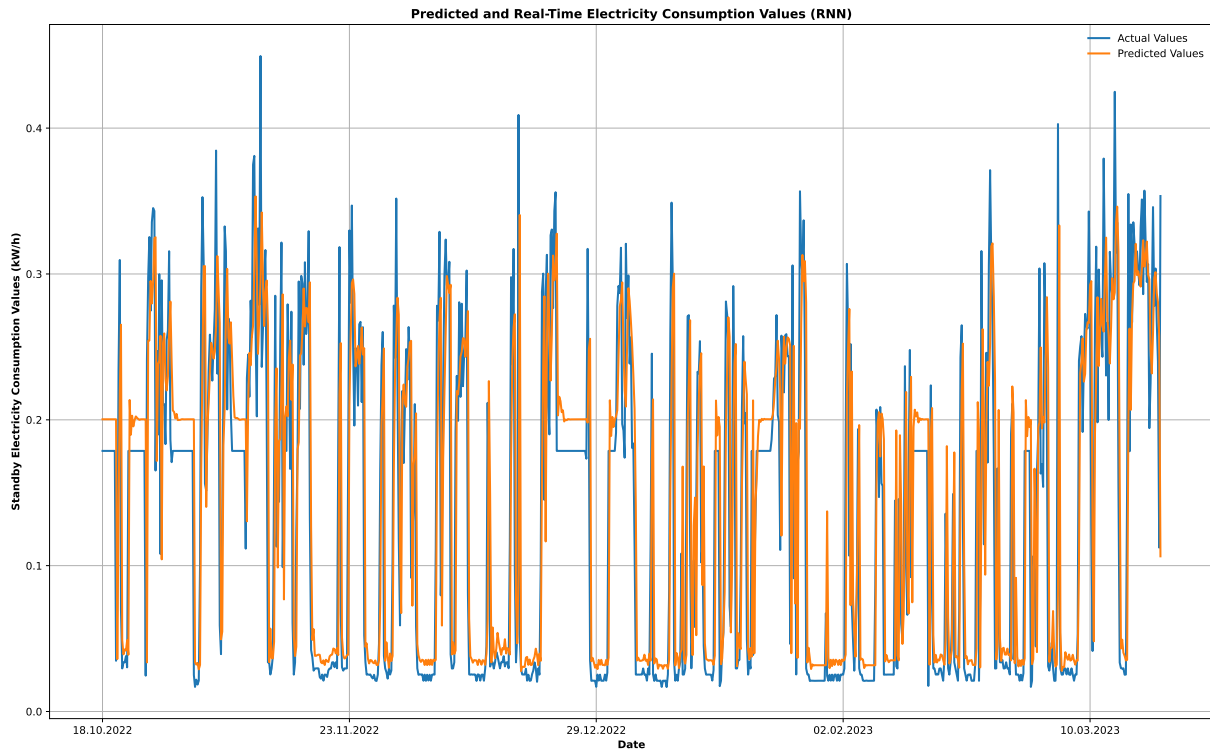


Figure 8. Real-time electricity consumption values and predicted threshold values using RNN

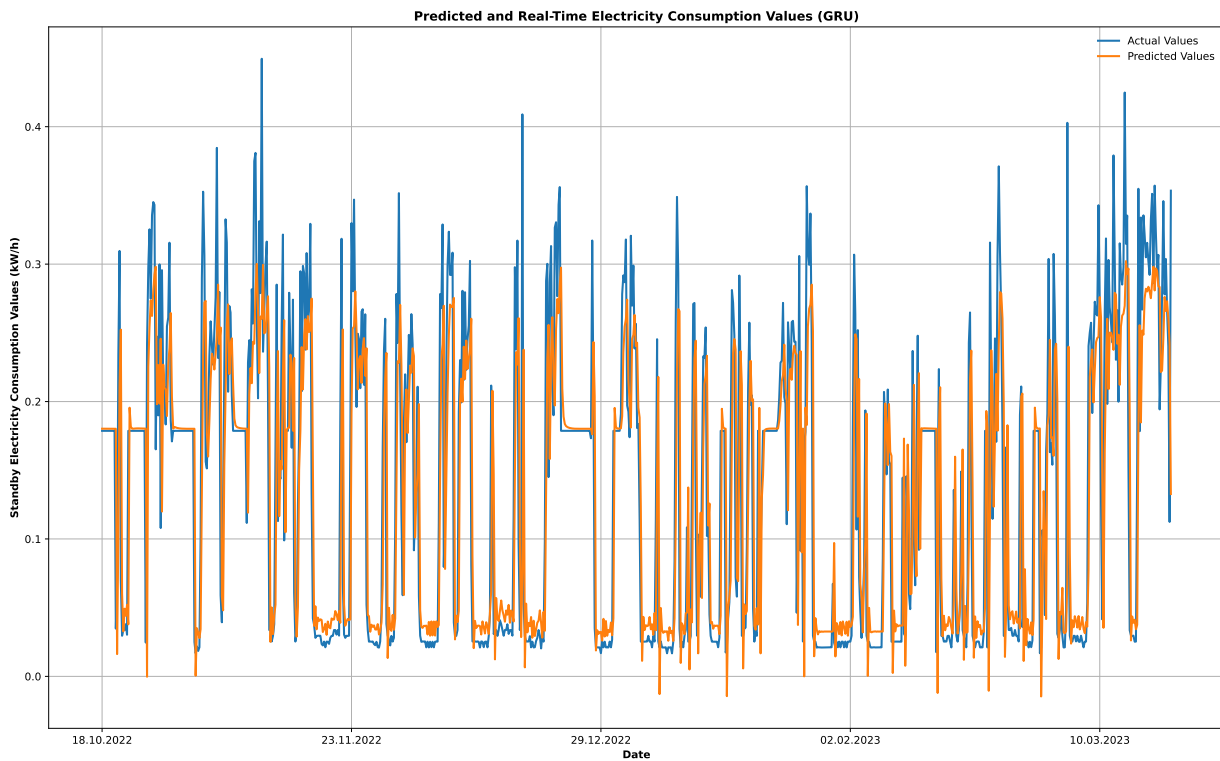


Figure 9. Real-time electricity consumption values and predicted threshold values using GRU

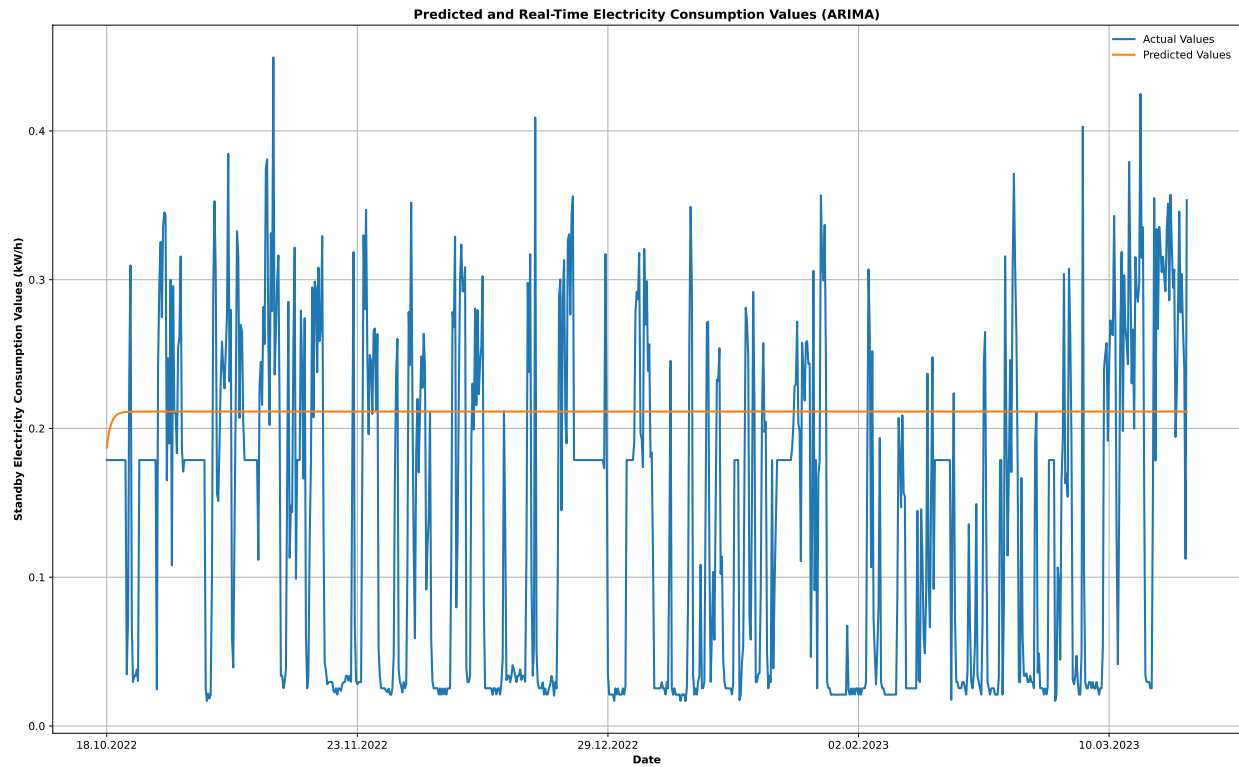


Figure 10. Real-time electricity consumption values and predicted threshold values using ARIMA

The total number of parameters in the model summary determines the complexity of the model and the amount of information it can learn. If the model has more parameters, it can carry more learnable information and capture more relationships. But this also requires more computational power and needs to be trained with more data. The total number of parameters has an impact on the performance and accuracy of the model but is not a stand-alone indicator. However, the risk of over-learning should also be considered. RNN has 30401, GRU has 91601 and LSTM has 121301 parameters. The summary of the models is given in Table 3.

Table 3. Summary of the DL models

	RNN	GRU	LSTM
Model Parameters	30300	91500	121200
Dense	101	101	101
Total Parameters	30401	91601	121301

The results of learning performances per epoch of the proposed LSTM model, RNN model and GRU model are given in Figure 11 (a), 11 (c) and 11 (d), respectively. When the loss values of the models created with LSTM, GRU and RNN layers are compared according to the figure, it is seen that the best result is obtained from the LSTM model due to the decrease in MAE loss values between target values and predictive values in both training and test data sets. In addition, in LSTM model, the fact that the loss values in the training and test data sets are very close to each other makes the model performs better. Figure 11 (b) visualizes the relationship between actual values and predicted values in the LSTM model. According to the figure, the agreement between the actual values and the predicted values is understood from the distribution of the points. The points of the values are located symmetrically around the line dividing the graph in the middle.

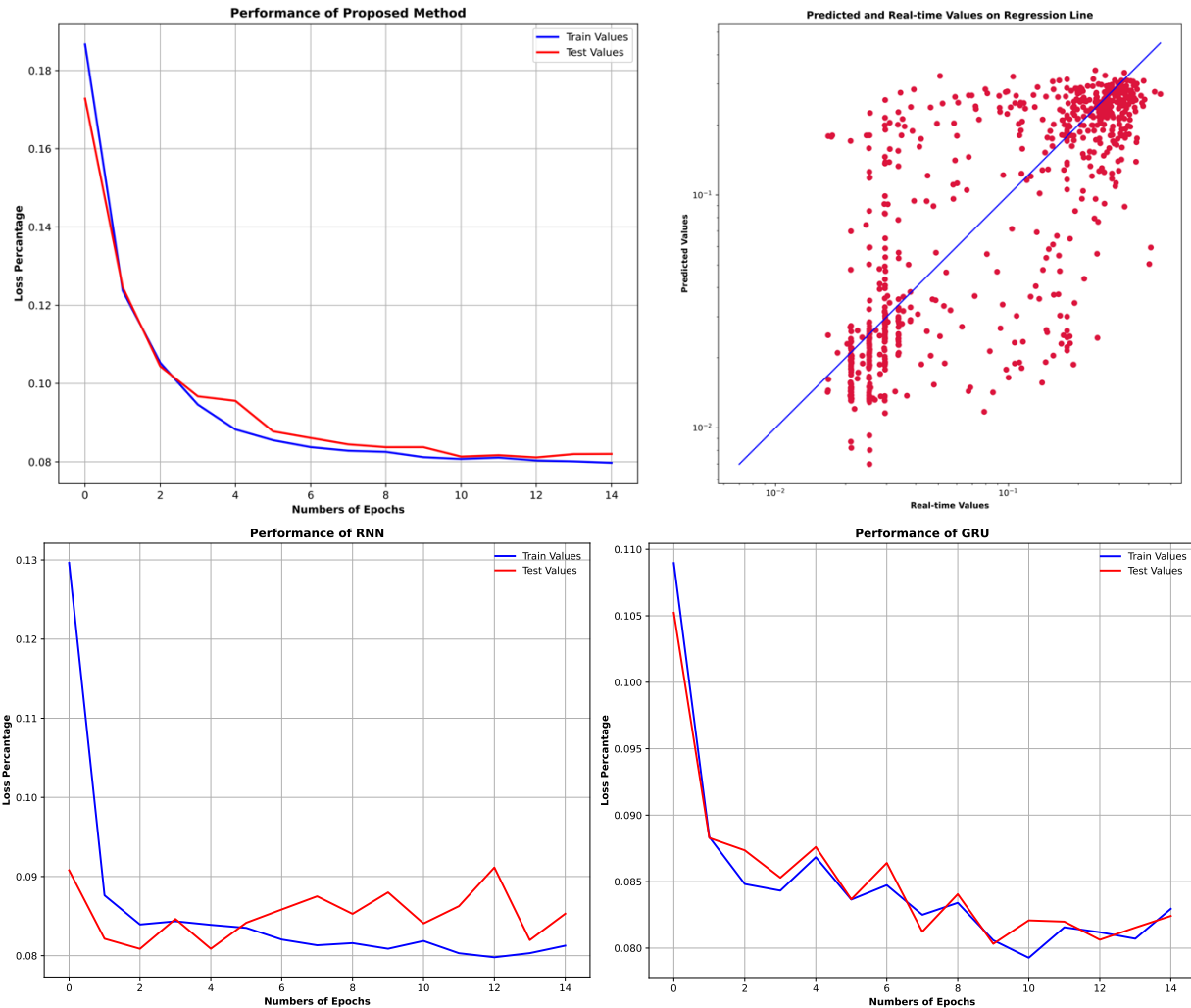


Figure 11. Learning performance results per epoch according to train and test values of LSTM, RNN and GRU and predicted and real-time values of electricity consumption on regression line of the proposed model

While the number of epochs increases, the loss percentage of the proposed model exponentially decreases by the train and the test values. The loss value measures how well the model fits the training dataset after each training epoch. A lower training loss indicates that the model better fits the training data and performs better. The training loss is expected to decrease over time, as the model aims to better understand the data and learn to make predictions more accurately. Test data is generally used to evaluate the generalization ability of the model. A lower test loss indicates that the model performs better overall and also fits well with the new data which is expected to decrease or remain the same over time. Average loss and error comparison results are given in Table 4.

Table 4. Average loss and error comparison results

	RNN	GRU	LSTM
Training Loss	0.0813	0.0830	0.0798
Test Loss	0.0853	0.0824	0.0820
RMSE	0.07149	0.0697	0.0728
MAE	0.0465	0.0449	0.0447

5. Result and Discussion

Recent technologies lead processes smarter in the manufacturing industry. While the production is continuous, these processes need more resource consumption. In recent years, free resources dramatically decrease therefore, their usage needs to be minimized. Thus, smart manufacturing should be optimized for resource consumption.

In this paper, LSTM with Sliding Window technique-based Deep Learning method is proposed for preventing the over-consumption of electricity in a textile factory as a case study. The proposed study offers a new perspective to the existing literature by focusing on the standby electricity energy consumption of textile machines and emphasizes that standby energy consumption is an overlooked area and long waiting times can lead to huge costs. The results of this study have the potential to contribute to the studies in the field of energy efficiency, as well as to reduce the energy costs of enterprises and achieve their sustainability goals.

The proposed method predicts upcoming 4-hour consumption thresholds of electricity, learning from the past 96-hour time series that helps the machines to stop manufacturing if needed by sending an interrupt signal to the PLC unit when the consumption levels reach these thresholds. The calculated thresholds are also compared with the results of RNN and GRU methods and the real-time resource consumption data in order to ensure the high accuracy of the proposed model. According to the results, the proposed model successfully predicts threshold levels of electricity values for preventing over-consumption. Additionally, the proposed model is a powerful tool for controlling the productivity of these textile machines.

On the other hand, in the textile industry, the resources are not limited to electricity. The other most important resources for textile machines are steam, hot water and natural gas therefore, the consumption of these resources should also be minimized. In future studies, the consumption values of these resources will be together taken into account.

Resource consumption in textile manufacturing depends on several parameters such as fabric type, machine type and process type that may change the resource consumption values thus making its estimation difficult. In this work, these parameters have not been included in the model. In order to predict resource consumption, these parameters will also be considered for future work. Additionally, the time spent and the performance of the proposed method in this case study should be also optimized. Therefore, the proper metaheuristic-based solutions will be implemented in the next model.

Acknowledgement

This research is supported in part by R&D Department of Menderes Tekstil A.Ş., Denizli, Türkiye. The authors would like to thank Menderes Tekstil A.Ş. for the support they provide for sharing real-time data of textile machines.

Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

References

- Agga, A., Abbou, A., Labbadi, M., El Houm, Y., and Ali, I. H. O., 2022. CNN-LSTM: An efficient hybrid deep learning architecture for predicting short-term photovoltaic power production. *Electric Power Systems Research*, 208, 107908.
- Alazab, M., Khan, S., Krishnan, S. S. R., Pham, Q. V., Reddy, M. P. K., Gadekallu, T. R., 2020. A multidirectional LSTM model for predicting the stability of a smart grid. *IEEE Access*, 8, 85454-85463.
- Albuquerque, P. C., Cajueiro, D. O., Rossi, M. D., 2022. Machine learning models for forecasting power electricity consumption using a high dimensional dataset. *Expert Systems with Applications*, 187, 115917.
- Aparna, S., 2018. Long short term memory and rolling window technique for modeling power demand prediction. *Second International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS)*, 1675-1678.
- Arora, S., and Majumdar, A., 2022. Machine learning and soft computing applications in textile and clothing supply chain: Bibliometric and network analyses to delineate future research agenda. *Expert Systems with Applications*, 117000.
- Awan, M. R., González Rojas, H. A., Hameed, S., Riaz, F., Hamid, S., & Hussain, A. (2022). Machine learning-based prediction of specific energy consumption for cut-off grinding. *Sensors*, 22(19), 7152.
- Bhatt, A., Ongsakul, W., and Singh, J. G. (2022). Sliding window approach with first-order differencing for very short-term solar irradiance forecasting using deep learning models. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 50, 101864.
- Chen, C., Zhang, Q., Kashani, M. H., Jun, C., Bateni, S. M., Band, S. S., ... & Chau, K. W. (2022). Forecast of rainfall distribution based on fixed sliding window long short-term memory. *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*, 16(1), 248-261.
- Drewil, G. I., Al-Bahadili, R. J., 2022. Air pollution prediction using LSTM deep learning and metaheuristics algorithms. *Measurement: Sensors*, 24, 100546.
- Fagerström, J., Bång, M., Wilhelms, D., Chew, M. S., 2019. LiSep LSTM: a machine learning algorithm for early detection of septic shock. *Scientific reports*, 9(1), 15132.
- Fang, Y., Zou, Y., Xu, J., Chen, G., Zhou, Y., Deng, W., ... & Chen, J. (2021). Ambulatory cardiovascular monitoring via a machine-learning-assisted textile triboelectric sensor. *Advanced Materials*, 33(41), 2104178.

- Forootan, M. M., Larki, I., Zahedi, R., and Ahmadi, A., 2022. Machine learning and deep learning in energy systems: A review. *Sustainability*, 14(8), 4832.
- Garg, D., and Alam, M., 2020. Deep learning and IoT for agricultural applications. *Internet of Things (IoT) Concepts and Applications*, 273-284.
- González García, C., Núñez Valdéz, E. R., García Díaz, V., Pelayo García-Bustelo, B. C., and Cueva Lovelle, J. M., 2019. A review of artificial intelligence in the internet of things. *International Journal Of Interactive Multimedia And Artificial Intelligence*, 5.
- Güven, I., and Şimşir, F. (2020). Demand forecasting with color parameter in retail apparel industry using artificial neural networks (ANN) and support vector machines (SVM) methods. *Computers & Industrial Engineering*, 147, 106678.
- Ikeda, S., and Nagai, T., 2021. A novel optimization method combining metaheuristics and machine learning for daily optimal operations in building energy and storage systems. *Applied Energy*, 289, 116716.
- Kulanuwat, L., Chantrapornchai, C., Maleewong, M., Wongchaisuwat, P., Wimala, S., Sarinnapakorn, K., & Boonya-aroonnet, S. (2021). Anomaly detection using a sliding window technique and data imputation with machine learning for hydrological time series. *Water*, 13(13), 1862.
- Lee, M. H. L., Ser, Y. C., Selvachandran, G., Thong, P. H., Cuong, L., Son, L. H., Nguyen, T. T., and Gerogiannis, V. C., 2022. A comparative study of forecasting electricity consumption using machine learning models. *Mathematics*, 10(8), 1329.
- Majumdar, A., Jindal, A., Arora, S., and Bajya, M. (2022). Hybrid neuro-genetic machine learning models for the engineering of ring-spun cotton yarns. *Journal of Natural Fibers*, 19(16), 15164-15175.
- Malakouti, S. M., Ghiasi, A. R., Ghavifekr, A. A., Emami, P., 2022. Predicting wind power generation using machine learning and CNN-LSTM approaches. *Wind Engineering*, 46(6), 1853-1869.
- Medina, H., Peña, M., Siguenza-Guzman, L., and Guamán, R. (2022, April). Demand Forecasting for Textile Products Using Machine Learning Methods. In *Applied Technologies: Third International Conference, ICAT 2021, Quito, Ecuador, October 27-29, 2021, Proceedings* (pp. 301-315). Cham: Springer International Publishing.
- Milić, S. D., Đurović, Ž., and Stojanović, M. D. (2023). Data science and machine learning in the IIoT concepts of power plants. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 145, 108711.
- Mirandola, I., Berti, G. A., Caracciolo, R., Lee, S., Kim, N., & Quagliato, L. (2021). Machine learning-based models for the estimation of the energy consumption in metal forming processes. *Metals*, 11(5), 833.
- Oprea, S. V., Bâra, A., Puican, F. C., and Radu, I. C., 2021. Anomaly detection with machine learning algorithms and big data in electricity consumption. *Sustainability*, 13(19), 10963.
- Shine, P., Murphy, M. D., Upton, J., and Scully, T., 2018. Machine-learning algorithms for predicting on-farm direct water and electricity consumption on pasture based dairy farms. *Computers and electronics in agriculture*, 150, 74-87.
- Sun, R., Huang, W., Dong, Y., Zhao, L., Zhang, B., Ma, H., ... & Li, X. (2022). Dynamic Forecast of Desert Locust Presence Using Machine Learning with a Multivariate Time Lag Sliding Window Technique. *Remote Sensing*, 14(3), 747.
- Sundar, G., and Patchaiammal, P. (2022, February). Comprehensive Deep Recurrent Artificial Neural Network (CDRANN): Evolutionary Model for Future Prediction. In *International Conference on Computing, Communication, Electrical and Biomedical Systems* (pp. 217-234). Cham: Springer International Publishing.
- Wang, J. Q., Du, Y., Wang, J., 2020. LSTM based long-term energy consumption prediction with periodicity. *Energy*, 197, 117197.
- Vafaeipour, M., Rahbari, O., Rosen, M. A., Fazelpour, F., Ansarirad, P., 2014. Application of sliding window technique for prediction of wind velocity time series. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, 5, 1-7.
- Vu, C. C., and Kim, J. (2018). Human motion recognition by textile sensors based on machine learning algorithms. *Sensors*, 18(9), 3109.
- Yang, W., Sun, S., Hao, Y., and Wang, S., 2022. A novel machine learning-based electricity price forecasting model based on optimal model selection strategy. *Energy*, 238, 121989.
- Yasir, M., Ansari, Y., Latif, K., Maqsood, H., Habib, A., Moon, J., Rho, S., 2022. Machine learning-assisted efficient demand forecasting using endogenous and exogenous indicators for the textile industry. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 1-20.
- Yucesan, M., Pekel, E., Celik, E., Gul, M., Serin, F., 2021. Forecasting daily natural gas consumption with regression, time series and machine learning based methods. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 1-16.



AN INTEGRATED FUZZY MCDM MODEL FOR HOTEL WEBSITE EVALUATION

Dilek AKBURAK^{1*}, Mert AKBAŞ²

¹ İstanbul Kültür University, Faculty of Engineering, Department of Industrial Engineering, İstanbul, Türkiye

² Hitit Computer Services, Senior Business Analyst, İstanbul, Türkiye

Keywords

Website Evaluation,
E-commerce,
Fuzzy Sets,
MCDM,
Tourism.

Abstract

Changing and increasing customer expectations with the development of technology have also led to strategic changes in the tourism sector. The websites where the hotels offer their services are the first platforms they encounter with the customers. They should pay attention to various evaluation criteria in order to draw the attention of the customer and gain an advantage in the competitive market. This study aims to present a practical, useful, comprehensive, and integrated method for the evaluation of hotels' websites. In this study, a two-fold MCDM approach was proposed by taking into account the vagueness and complexity of the assessments. Firstly, criteria weights are found using the interval type-2 fuzzy AHP method. Secondly, hotel websites are ranked using the hesitant fuzzy TOPSIS method. An application study to evaluate five alternative hotel websites based on five main criteria and 19 subcriteria is also presented. While trust and information quality are the two most significant factors, reservation information, security, and special discounts are the three leading sub-factors.

OTEL WEB SİTESİ DEĞERLENDİRMESİ İÇİN ENTEGRE BİR BULANIK ÇKKM MODELİ

Anahtar Kelimeler

Web Sitesi Değerlendirmesi,
E-ticaret,
Bulanık Kümeler,
ÇKKM,
Turizm.

Öz

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte değişen ve artan müşteri beklentileri turizm sektöründe de stratejik değişimlere yol açmıştır. Otellerin hizmet sunduğu web siteleri, müşterilerle ilk karşılaştıkları platformlardır. Müşterinin dikkatini çekmek ve rekabetçi piyasada avantaj elde etmek için çeşitli değerlendirme kriterlerine dikkat etmelidirler. Bu çalışma, otellerin web sitelerinin değerlendirilmesi için etkili, kullanışlı, kapsamlı ve bütünleşik bir yöntem sunmayı amaçlamaktadır. Bu çalışmada, değerlendirmelerin belirsizliği ve karmaşıklığı dikkate alınarak ikili bir ÇÖKV yaklaşımı önerilmiştir. İlk olarak, aralık tip-2 bulanık AHP metodu kullanılarak kriter ağırlıkları bulunur. İkinci olarak, otel web siteleri tereddütlü bulanık TOPSIS yöntemi kullanılarak sıralanır. Beş alternatif otel web sitesini beş ana kriter ve 19 alt kritere göre değerlendiren bir uygulama çalışması da sunulmaktadır. Güven ve bilgi kalitesi en önemli iki faktör olurken, rezervasyon bilgisi, güvenlik ve özel indirimler en önemli üç alt faktör olarak bulunmuştur.

Alıntı / Cite

Akburak, D., Akbaş, M., (2023). An Integrated Fuzzy MCDM Model for Hotel Website Evaluation, Journal of Engineering Sciences and Design, 11(4), 1398-1409.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

D. Akburak, 0000-0003-4633-2927
M. Akbaş, 0000-0001-7786-5748

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	31.01.2023
Revizyon Tarihi / Revision Date	02.08.2023
Kabul Tarihi / Accepted Date	15.09.2023
Yayın Tarihi / Published Date	30.12.2023

* İlgili yazar / Corresponding author: d.akburak@iku.edu.tr, +90-539-989-1816

AN INTEGRATED FUZZY MCDM MODEL FOR HOTEL WEBSITE EVALUATION

Dilek Akburak^{1†}, Mert Akbaş²

¹ İstanbul Kültür University, Faculty of Engineering, Department of Industrial Engineering, İstanbul, Türkiye

² Hitit Computer Services, Senior Business Analyst, İstanbul, Türkiye

Highlights

- An integrated approach of interval type-2 fuzzy AHP and hesitant fuzzy TOPSIS is applied.
- Sensitivity analysis is conducted to observe the dependency among criteria.
- Evaluation criteria of websites are examined both theoretically and practically.
- Integrated model is validated with an application study.

Purpose and Scope

The purpose of this study is to propose an effective, easily applicable, comprehensive, and integrated method for the assessment of hotel websites. Thus, it is anticipated that the efficiency of e-commerce in the tourism sector is enhanced.

Design/methodology/approach

A two-stage MCDM approach is proposed, taking into account the uncertainty and complexity of the assessments. In the first stage, the main and sub-criteria weights were calculated using the interval type-2 fuzzy AHP method. Afterward, hotel websites were ranked from best to worst using the hesitant fuzzy TOPSIS method. The sensitivity analysis method was used to measure the effect of the weights of the main criteria in the model on the ranking.

Findings

With the effect of the pandemic, the importance of e-commerce has raised in the tourism sector, as in all sectors. Hotel websites, which are the first meeting platform with the customer, should be designed by considering the criteria of trust, information quality, customer relations, design, and cost. Findings indicate that the most significant criterion is trust and the least significant one is the criterion of design. According to the results of the sensitivity analysis, no significant change was observed in the ranking of the hotels as the weights of the main criteria changed.

Originality

This study applies a two-stage integrated decision-making methodology for the evaluation and ranking of hotel websites.

1. Introduction

Technology has led to significant changes in the strategies of tourism organizations, as in every sector. These changes and enhancements play a vital role in organizations to maintain their sustainable marketing structure by providing a competitive advantage in the marketplace (Buhalis, 2019). This advancement of technology has also changed the pre-travel processes of visitors. Most customers access this service online, rather than at travel agency offices. Thus, customers can access all information about many hotels, both through the websites of the hotels and online travel sites, and can access the comments of the customers who have visited the hotels before (Çaylak, 2019). Developments in web technologies have brought concepts such as user experience and website quality to the forefront (Samanlioglu et al, 2020). Therefore, it is suggested that strategy managers in the tourism sector should focus on the information management process of their organizations.

Furthermore, the most crucial factor in digitalization being such a focal point is the Covid-19 pandemic that has affected the whole world in the last few years (Hasanat et al, 2020). The researches show that customers have become to meet all their demands through e-commerce sites in order to avoid in-person contact. For these reasons, strategy managers of organizations need to transform the web technologies that provide the connection between the organization and the customer, with an innovative perspective, into a form that is user-friendly, more effective, and meet customer demands (Tran, 2021). It is very crucial for hotels to have quality websites in order to gain an advantage against reservation sites and to maintain their presence in the sector during challenging pandemic conditions. Many hotels cooperate with one or more booking sites, either because these booking sites offer customers the ability to compare various hotels. Furthermore, they are attractive to customers because of the

† Corresponding author: d.akburak@iku.edu.tr, +90-539-989-1816

special offers and discounts they provide. However, hotels actually prefer customers to make reservations through their own websites, as the booking sites demand commissions and discounts from the hotels in order to collaborate with hotels (Chang et al., 2019).

The development of visually appealing and highly informative websites has become significant for organizations as customers use their websites to search for hotels that match their expectations and then select the most suitable hotel and make reservations. In short, a website designed by focusing on the right criteria can turn a visitor into a customer (Ostovare and Shahraki, 2019). There are many competitive criteria to be taken into account in the evaluation process of hotel websites. Therefore, in this study, multi-criteria decision making (MCDM) methods are utilized to handle the complexity. MCDM approaches are extended with fuzzy sets in order to deal with the uncertain, hesitant, and subjective evaluations of decision makers (Cevik Onar et al., 2014). In this paper, interval type-2 fuzzy sets and hesitant fuzzy sets (HFSs) are combined with the decision making approaches. While the interval type-2 fuzzy sets (Zadeh, 1975) are chosen because they can better cope with the vagueness and uncertainty situations and the membership values are also fuzzy sets; the hesitant fuzzy sets are preferred to overcome in cases where the decision maker hesitates by having difficulty in making a single choice (Torra, 2010).

In this paper, a two-fold MCDM method using interval type-2 fuzzy AHP and hesitant fuzzy TOPSIS approaches has been proposed for a hotel website evaluation and selection problem. The criteria weights are computed via the interval type-2 fuzzy AHP method by considering pairwise comparison matrices. Afterward, alternatives are evaluated using TOPSIS method based on HFSs, and also a possible rank of each alternative are obtained based on subcriteria by considering different judgments of experts. Therefore, in the integrated methodology used in this study, a multi-criteria evaluation model is presented considering fuzzy sets in both discrete and continuous form. For the application study, all criteria are determined based on a detailed literature review. As a result, five hotel alternatives located in the Cappadocia region are ranked from the best to the worst.

The remainder of this paper is organized as follows. In Section 2, the literature review for the hotel website evaluation problem is presented. Section 3 presents the proposed integrated methodology in detail. The application study is given in Section 4. Lastly, the discussions and conclusions are given in Section 5.

2. Literature Survey

Hotels ought to have functional and user-friendly websites to reach new customers, retain current customers, and enhance the brand value. An organization with a successfully designed website will provide a competitive advantage in the sector as it will attract more customers (Ageeva et al., 2018). This situation has brought about the website assessment of a hotel to become a crucial research area. However, as a result of the literature reviews, it shows that there is less research than expected on this subject. Some of these researches, which evaluate hotel websites using different methods, are presented as follows.

Akıncılar and Dagdeviren (2014) proposed a hybrid model consisting of two MCDM methods which are Analytic Hierarchy Process (AHP) and Preference Ranking Organisation Method for Enrichment Evaluations (PROMETHEE) to evaluate five-star hotel websites. Wang et al. (2015) analysed the relationship between hotel website quality, and trust and reservation intention and concluded they have a positive connection. Leung et al. (2016) developed an evaluation model using statistical tests, named Mann-Whitney, and Kruskal-Wallis to assess the hotel websites' performance.

In the literature, the most widely used methods for hotel website evaluation are some statistical approaches. Exploratory Factor Analysis (EFA), Structural Equation Modeling, and Confirmatory Factor Analysis (CFA). Ageeva et al. (2018) focused on the factors affecting the performance of the corporate website and their impacts on brand value and image using qualitative comparative analysis (QCA), CFA, and EFA approaches. Di Fatta et al. (2018) proposed a model that examines the factors affecting the number of visitors to a website and the rate of purchase using QCA, and exploratory regression analysis approaches. Jawabreh et al. (2022) utilized one of the statistical tools, ANOVA, to analyse the context of hotels' websites in Jordan. which are The decision making methods applied for hotel website assessment are summarized as follows. Roy et al. (2019) proposed a weighted interval rough number (WIRN) based complex proportional assessment (COPRAS) method to deal with inconsistent and subjective information for evaluating hotel websites. Ostovare and Shahraki (2019) proposed an integrated method of fuzzy Delphi, Shannon entropy, and PROMETHEE for the evaluation of hotel websites. Baki (2020) evaluated and ranked the alternatives of 5 hotel websites based on 5 main criteria by using fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methods. Samanlıoğlu et al. (2020) evaluated and ranked the alternative hotel websites as well as digital solution supplier companies by integrating fuzzy Best Worst Method (BWM) and fuzzy TOPSIS method. Tseng et al. (2021) investigated the significant factors while selecting the best third-party booking system by using AHP method. Recently, Çınaroğlu and Zaralı (2022) evaluated the quality of websites for the Cappadocia hotels by using intuitionistic fuzzy EDAS approach.

3. Material and Method

A crisp set can be defined as a set of elements that are either a full member or non-member. Membership degrees of the elements of these sets are either 0 (non-member) or 1 (full member). Fuzzy set theory lets an element be a partial member of the set, in other words, an element can be a member of more than one set with different membership degrees. Membership degrees that the elements forming fuzzy sets can take all real numbers in the continuous interval [0, 1]. Functions that show the degree to which they belong to a set for elements of any value range are called membership functions (Zadeh, 1965). Various mapping functions like triangle, trapezoid, bell curve are used to express these functions (Kahraman et al., 2010).

3.1. Interval Type-2 Fuzzy Sets

The ordinary fuzzy sets are the most common to be encountered in practice. An ordinary (type-1) fuzzy set (Zadeh, 1965) consists of elements that each individual element has a membership degree and the value might be any real continuous value in the interval [0, 1]. Since the values used in the development of ordinary membership functions are mostly extremely precise, several other types of fuzzy membership functions have been proposed as generalized membership functions. If the level of knowledge is not sufficient to determine membership functions in a high precision level, the upper and lower limits of membership degrees are specified for each unique element in a fuzzy set. This type of fuzzy sets refers to interval-valued membership function (Cevik Onar et al., 2014). Since fuzzy numbers can better handle vagueness and uncertainties, type-2 fuzzy sets with fuzzy membership values are introduced by Zadeh (1975). An interval type-2 fuzzy set is a special case of general type-2 fuzzy sets where all the secondary membership functions of \tilde{a} are equal to 1 (Zadeh, 1975). The formulation of secondary membership grades is given in Eq.(1).

$$\tilde{a} = \int_{x \in X} \int_{u \in J_x} 1/(x, u) \quad (1)$$

where u is the secondary variable in domain J_x at each $x \in X$. J_x is called the primary membership of x , and the secondary membership grades of \tilde{a} all equal to 1, $J_x \subseteq [0,1]$ and \int denote union over all admissible x and u .

3.1. Hesitant Fuzzy Sets

The classical fuzzy set theory developed by Zadeh (1965) considers the uncertain aspect of human decisions with triangular or trapezoidal membership values. Since it is inadequate in hesitant situations where the decision maker has difficulty making a single choice, Torra (2010) has defined hesitant fuzzy sets (HFS). Membership function is depicted in Eq. (2).

$$A = \{ \langle x, h_A(x) \rangle \mid x \in X \} \quad (2)$$

where h is a set of values in [0, 1], representing the membership degree by which an element x is associated with a set A .

For example, in classical fuzzy sets, one alternative can be compared with another with expressions such as "excellent", "very high", "high", "medium", "low", "very low" or "not at all", on the other hand, "high", "medium low", The expressions "greater than high", "moderate to very high" are some linguistic terms used for comparison in hesitant fuzzy sets. These expressions are more appropriate for linguistic judgments in situations where it is difficult and hesitant to make a decision with a single fuzzy linguistic expression (Rodriguez et al., 2012).

3.3. Integrated Methodology

In this study, two significant generalized fuzzy sets named, interval type-2 fuzzy sets and hesitant fuzzy sets are used to deal with imprecise information that multiple sources of uncertainty arise simultaneously. In the subsections, these two methods are expressed, and the proposed methodology is presented.

3.3.1. Interval Type-2 Fuzzy AHP

AHP is a well-known MCDM method that is frequently used in the literature. The purpose of this method initiated by Saaty (1985) is to be able to choose the best or determine a set of optimal alternatives from a range of competing alternatives, considering many criteria. In the literature, it is used either individually or in integration with other MCDM methods to assess the suppliers and decide the most suitable one. Pairwise comparison matrices form the basis of this method. Decision makers make their pairwise comparisons using a linguistic scale. In the standard AHP method, the linguistic scale includes levels from one to nine, then this scale is expanded using different types of fuzzy numbers. Thus, the fuzzy AHP method is also used in situations where imprecise, uncertain judgments

exist (Cevik Onar et al., 2014). If the level of knowledge is not sufficient to determine membership functions at a high precision level, the upper and lower limits of membership degrees are specified for each unique element in a fuzzy set. At this point, interval type-2 fuzzy set which refers to a fuzzy set characterized by uncertain or unknown membership being depicted by a confined area known as the footprint of uncertainty is preferred. The footprint of uncertainty is created by two membership functions: an upper membership function which represents the highest bound and a lower membership function which displays the lower bound. The main steps of the interval type-2 fuzzy AHP approach are explained as follows (Kahraman and Kaya, 2010):

1) The problem is defined. The target, alternatives, criteria, and subcriteria (if any) are defined and the hierarchy of the problem is constructed as exemplified in Figure 3. Afterward, the pairwise comparison matrix for criteria is developed using the evaluations of decision makers via linguistic scales presented in Figure 1.

Linguistic Variables	Trapezoidal Interval Type-2 Fuzzy Scales
Very Satisfied (VS)	(7,8,9,9;1,1), (7.3,8.3,8.7;0.7,0.7)
Satisfied (S)	(5,6,8,9;1,1),(5.3,6.3,7.7,8.7;0.7,0.7)
Very Dissatisfied (VDS)	(3,4,6,7;1,1), (3.3,4.3,5.7,6.7;0.7,0.7)
Dissatisfied (DS)	(1,2,4,5;1,1),(1.3,2.3,3.7,4.7;0.7,0.7)
Null (N)	(1,1,1,1;1,1),(1,1,1,1;1,1)

Figure 1. Linguistic variables and corresponding trapezoidal fuzzy scales

2) The evaluations of the experts are collected in the pairwise comparison matrices as given below.

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} 1 & \dots & \tilde{a}_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/\tilde{a}_{1n} & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

where $\tilde{a} = ((a_{11}^u, a_{12}^u, a_{13}^u, a_{14}^u; H_1(a_{12}^u), H_2(a_{13}^u)), (a_{21}^l, a_{22}^l, a_{23}^l, a_{24}^l; H_1(a_{22}^l), H_2(a_{23}^l)))$ and

$$1/\tilde{a} = ((\frac{1}{a_{14}^u}, \frac{1}{a_{13}^u}, \frac{1}{a_{12}^u}, \frac{1}{a_{11}^u}; H_1(a_{12}^u), H_2(a_{13}^u)), (\frac{1}{a_{24}^l}, \frac{1}{a_{23}^l}, \frac{1}{a_{22}^l}, \frac{1}{a_{21}^l}; H_1(a_{22}^l), H_2(a_{23}^l)))$$

3) The fuzzy pairwise comparison matrices are controlled based on their consistency level. As long as the consistency level is not appropriate, the matrix must be rebuilt.

4) The evaluations of the experts for each criterion are aggregated via calculating the geometric mean as given in Eq.(3).

$$\tilde{a}_{ij} = [\tilde{a}_{ij}^1 \otimes \dots \otimes \tilde{a}_{ij}^n]^{\frac{1}{n}} \tag{3}$$

where

$$\sqrt[n]{\tilde{a}_{ij}} = ((\sqrt[n]{a_{ij1}^u}, \sqrt[n]{a_{ij2}^u}, \sqrt[n]{a_{ij3}^u}, \sqrt[n]{a_{ij4}^u}; H_1^u(a_{ij}), H_2^u(a_{ij})), (\sqrt[n]{a_{ij1}^l}, \sqrt[n]{a_{ij2}^l}, \sqrt[n]{a_{ij3}^l}, \sqrt[n]{a_{ij4}^l}; H_1^l(a_{ij}), H_2^l(a_{ij})))$$

5) Calculation of fuzzy weights (\tilde{p}_l) using the geometric mean (\tilde{r}_l) for each criterion (Eq. (4)). The fuzzy weight obtained from the pairwise comparison matrix represents the local weights.

$$\tilde{p}_l = \tilde{r}_l \otimes [\tilde{r}_1 \oplus \dots \oplus \tilde{r}_l \oplus \dots \oplus \tilde{r}_n]^{-1} \tag{4}$$

6) Fuzzy weights are defuzzified by DTtrT approach (Kahraman et al., 2014) presented in Eq. (5) and the importance of the weights is calculated.

$$DTtrT = \frac{\frac{(u_U - l_U) + (\beta_U \cdot m_{1U} - l_U) + (a_U \cdot m_{2U} - l_U)}{4} + l_U}{2} + \frac{[\frac{(u_L - l_L) + (\beta_L \cdot m_{1L} - l_L) + (a_L \cdot m_{2L} - l_L)}{4} + l_L]}{2} \tag{5}$$

3.3.2. Hesitant Fuzzy TOPSIS

The TOPSIS method was originally initiated by Hwang and Yoon (1981) to rank the preferences of decision makers. In this method, after calculating the positive ideal solution (PIS) (A*) by maximizing the benefit criteria, and computing the negative ideal solution (NIS) (A-) by minimizing the cost criteria for the worst case, the relative closeness of each alternative to the ideal solution is evaluated and ranked from the closest to farthest based on relative closeness value (Hwang and Yoon, 1981). The alternative which has the shortest geometric distance from

PIS and longest geometric distance from NIS, with the highest relative closeness, is chosen. A hesitant fuzzy number is represented as:

$$h_{ij} = \{\gamma_{1j}, \gamma_{2j}, \dots, \gamma_{mj}\};$$

where ' h_{ij} ' denotes the set of positive real values for criterion/subcriterion j , and each γ_{ij} , which refers to degrees of hesitation or satisfaction, belongs to the range $[0, 1]$, where $i = 1, 2, \dots, m$.

Steps of hesitant fuzzy TOPSIS approach are explained as indicated below (Senvar and Bolturk, 2016):

1) Positive and negative ideal solutions are described with Eqs. (6) and (7).

$$A^* = \{h_1^*, h_2^*, \dots, h_j^*\}; \tag{6}$$

where

$$h_j^* = \cup_{i=1}^m h_{ij} = \cup_{\gamma_{1j}} \in h_{1j}, \dots, \gamma_{mj} \in h_{mj} \max \{\gamma_{1j}, \gamma_{2j}, \dots, \gamma_{mj}\} \quad j = \{1, 2, \dots, n\}$$

$$A^- = \{h_1^-, h_2^-, \dots, h_j^-\}; \tag{7}$$

where

$$h_j^- = \cap_{i=1}^m h_{ij} = \cap_{\gamma_{1j}} \in h_{1j}, \dots, \gamma_{mj} \in h_{mj} \min \{\gamma_{1j}, \gamma_{2j}, \dots, \gamma_{mj}\} \quad j = \{1, 2, \dots, n\}$$

2) The distances to the PIS and NIS are calculated for each alternative by using Eqs. (8) and (9), respectively. In this study, the separation measure is calculated using the weighted hesitation normalized Hamming distance (Eq. (10)). The distance of an alternative to PIS (D^+) and NIS (D^-) is calculated as follows:

$$D_i^+ = \sum_{j=1}^n w_j \times \|h_{ij} - h_j^*\| \tag{8}$$

$$D_i^- = \sum_{j=1}^n w_j \times \|h_{ij} - h_j^-\| \tag{9}$$

$$\|h_1 - h_2\| = \sum_{j=1}^l |h_{1\sigma(j)} - h_{2\sigma(j)}| / l \tag{10}$$

where w_j denotes importance degree of j^{th} criterion.

3) The relative closeness to the ideal solution is calculated via Equation (11) for each alternative.

$$C_i = \frac{D_i^-}{D_i^- + D_i^+} \tag{11}$$

4) Finally, the alternatives are ranked in descending order of relative closeness. The highest relative closeness means the farthest from the anti-ideal solution. Therefore, the alternative with the greatest value is selected as the most appropriate.

In this study, an integrated model was created by combining the interval type-2 fuzzy AHP and hesitant fuzzy TOPSIS methods. The flow chart of the proposed methodology is given in Figure 2.

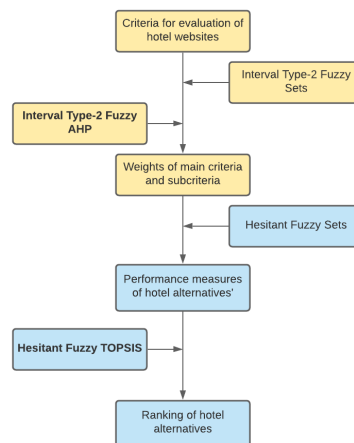


Figure 2. The flowchart of proposed integrated methodology

4. Application Study

The main problem is to determine the most significant factors for a hotel website and select the one with the highest quality. It is aimed to develop a beneficial, efficient, and extensive methodology to enable the assessment and selection of hotel websites. Before determining the evaluation criteria and alternatives, detailed information was collected by examining the studies conducted in the fields of hotel, tourism, and travel.

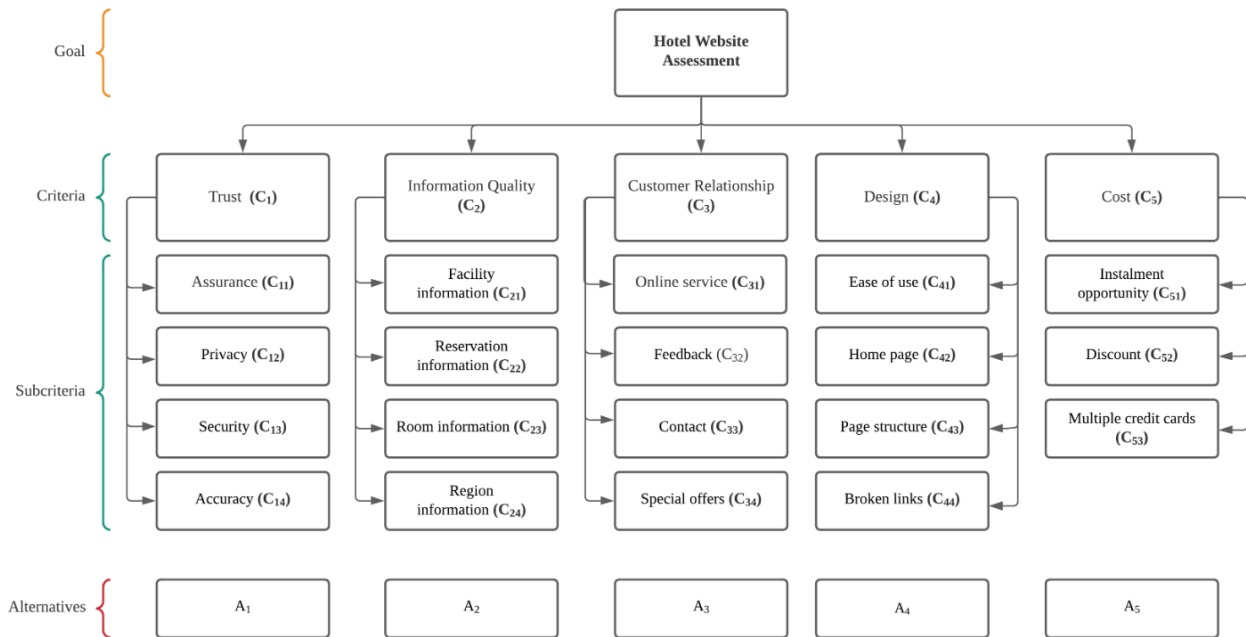


Figure 3. The Hierarchy of the Hotel website evaluation problem

There are mainly decision makers working in the sectors of engineering and computer science. The criteria determined by the literature review were updated with experts’ feedback and took the final form presented in Figure 3. In the first stage, the weights of the five main criteria and 19 subcriteria are determined by regarding the evaluations of the decision makers via interval type-2 fuzzy AHP method. In the second phase, five alternative hotel websites are evaluated by decision makers according to existing criteria and ranked via using hesitant fuzzy TOPSIS method.

4.1. Determination of the (sub)Criteria Weights Via Interval Type-2 Fuzzy AHP

In the first stage, interval type-2 fuzzy AHP method is used to determine the relative weights of both main criteria and subcriteria. According to the linguistic evaluation scales given in Figure 1, the pairwise comparison matrix regarding linguistic evaluations of decision makers is presented in Figure 4. The consistency levels of the matrices formed by four decision makers are checked. Ultimately, evaluations are found to be consistent.

	C1				C2				C3				C4				C5			
	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4
C1	N	N	N	N	S	DS	1/S	1/VDS	VDS	DS	1/S	DS	S	VDS	N	1/VS	S	VDS	N	1/DS
C2	1/S	1/DS	S	VDS	N	N	N	N	S	VDS	1/VDS	1/DS	S	VDS	1/S	1/DS	VDS	DS	N	1/VDS
C3	1/VDS	1/DS	S	1/DS	1/S	1/VDS	VDS	DS	N	N	N	N	VDS	DS	1/VDS	1/VDS	VDS	DS	DS	1/DS
C4	1/S	1/VDS	N	VS	1/S	1/VDS	S	DS	1/VDS	1/DS	VDS	VDS	N	N	N	N	DS	1/VS	1/VDS	1/DS
C5	1/S	1/VDS	N	DS	1/VDS	1/DS	N	VDS	1/VDS	1/DS	1/DS	DS	1/DS	VS	VDS	DS	N	N	N	N

Figure 4. Experts’ evaluations on main criteria

After applying all the steps given in Section 3.3.1, the weights of each criterion and subcriterion are presented in Table 1.

According to the weights of the main criteria, it is implied that the most significant criterion is trust (C1); the lowest significant one is found to be the criterion of design (C4). The criteria with moderate weight levels are information quality (C2), customer relationship (C3), and cost (C5), respectively. When the weights of the subcriteria are examined, the highest level of importance belongs to both reservation information (C22) and discount (C52) and the following subcriterion with the 2nd highest importance security (C13). On the other hand, the broken links criterion (C44) has the lowest level of importance among all subcriteria.

Table 1. Criteria and subcriteria weights

CRITERIA	SUBCRITERIA	DEFUZZIFIED WEIGHTS	NORMALIZED WEIGHTS	CRITERIA WEIGHTS
C ₁	C ₁₁	0.052	0.050	0.247
	C ₁₂	0.062	0.061	
	C ₁₃	0.079	0.077	
	C ₁₄	0.058	0.057	
C ₂	C ₂₁	0.048	0.047	0.222
	C ₂₂	0.083	0.081	
	C ₂₃	0.060	0.058	
	C ₂₄	0.037	0.036	
C ₃	C ₃₁	0.050	0.049	0.198
	C ₃₂	0.047	0.046	
	C ₃₃	0.058	0.056	
	C ₃₄	0.059	0.058	
C ₄	C ₄₁	0.068	0.066	0.155
	C ₄₂	0.028	0.028	
	C ₄₃	0.038	0.037	
	C ₄₄	0.026	0.025	
C ₅	C ₅₁	0.035	0.034	0.178
	C ₅₂	0.083	0.081	
	C ₅₃	0.057	0.056	

4.2. Evaluation of the Alternatives via Hesitant Fuzzy TOPSIS

The decision makers, who specialized in different fields, evaluated five hotel website alternatives anonymously based on each subcriterion. The hesitant decision matrix that all decision makers presented their evaluations for alternative hotel websites according to the subcriteria is presented in Table 2. Hesitant fuzzy decision matrix is a matrix in which decision makers specify how superior one alternative is to another for a criterion or sub-criterion on a [0,1] scale. For the current application study, each of the four experts compared the importance of each alternative with other alternatives for each sub-criterion and provided their evaluations as a hesitant fuzzy membership function value on the [0,1] scale. For instance, hesitant fuzzy element values for C₁₁ sub-criterion are obtained by the experts on behalf of the performance of the 1st alternative as h₁₁={0.4,0.6,0.7,0.8} in Table 2. In order to find the best hotel website, the hesitant fuzzy TOPSIS method is applied by following the steps explained in Section 3.3.2.

In the first phase of the method, the PIS and NIS should be calculated by using the maximum (A*) and minimum (A-) membership values. For instance, these values (h₁* and h₁-) for the 1st criterion (C₁) can be determined as follows:

$$h_1^* = \max\{0.4,0.6,0.7,0.8,0.5,0.6,0.7,0.8,0.2,0.3,0.5,0.6,0.5,0.6,0.7,0.9,0.5,0.6,0.7,0.9\}=0.9$$

$$h_1^- = \min\{0.4,0.6,0.7,0.8,0.5,0.6,0.7,0.8,0.2,0.3,0.5,0.6,0.5,0.6,0.7,0.9,0.5,0.6,0.7,0.9\}=0.2$$

Table 2. Hesitant fuzzy decision matrix

	A1	A2	A3	A4	A5
C ₁₁	{0.4,0.6,0.7,0.8}	{0.5,0.6,0.7,0.8}	{0.2,0.3,0.5,0.6}	{0.5,0.6,0.7,0.9}	{0.5,0.6,0.7,0.9}
C ₁₂	{0.3,0.4,0.5,0.6}	{0.5,0.6,0.7,0.9}	{0.1,0.2,0.3,0.4}	{0.5,0.6,0.7,0.9}	{0.2,0.3,0.5,0.6}
C ₁₃	{0.3,0.5,0.6,0.7}	{0.6,0.7,0.8,0.8}	{0.1,0.2,0.3,0.4}	{0.4,0.5,0.6,0.8}	{0.2,0.4,0.5,0.7}
C ₁₄	{0.2,0.3,0.4,0.5}	{0.5,0.4,0.5,0.7}	{0.1,0.2,0.3,0.4}	{0.3,0.4,0.5,0.8}	{0.2,0.3,0.4,0.5}
C ₂₁	{0.2,0.4,0.6,0.7}	{0.4,0.6,0.7,0.9}	{0.1,0.4,0.5,0.7}	{0.4,0.6,0.7,0.8}	{0.4,0.5,0.6,0.7}
C ₂₂	{0.3,0.4,0.5,0.6}	{0.2,0.3,0.4,0.9}	{0.2,0.3,0.4,0.5}	{0.5,0.7,0.8,0.9}	{0.4,0.5,0.6,0.7}
C ₂₃	{0.2,0.5,0.6,0.7}	{0.2,0.3,0.5,0.8}	{0.3,0.4,0.5,0.6}	{0.3,0.5,0.7,0.9}	{0.3,0.4,0.5,0.6}
C ₂₄	{0.4,0.5,0.6,0.7}	{0.3,0.4,0.6,0.8}	{0.1,0.2,0.3,0.4}	{0.1,0.5,0.6,0.7}	{0.2,0.3,0.4,0.5}
C ₃₁	{0.4,0.5,0.6,0.7}	{0.1,0.4,0.6,0.7}	{0.1,0.2,0.3,0.6}	{0.1,0.5,0.6,0.7}	{0.2,0.4,0.5,0.6}
C ₃₂	{0.3,0.4,0.5,0.6}	{0.1,0.5,0.6,0.9}	{0.2,0.3,0.4,0.5}	{0.1,0.4,0.6,0.8}	{0.2,0.5,0.6,0.7}
C ₃₃	{0.3,0.4,0.5,0.6}	{0.1,0.6,0.7,0.9}	{0.1,0.2,0.5,0.6}	{0.1,0.6,0.7,0.8}	{0.3,0.4,0.5,0.8}
C ₃₄	{0.4,0.6,0.7,0.8}	{0.2,0.3,0.5,0.7}	{0.1,0.2,0.3,0.4}	{0.2,0.5,0.6,0.9}	{0.2,0.3,0.4,0.5}
C ₄₁	{0.3,0.4,0.5,0.6}	{0.5,0.6,0.7,0.8}	{0.1,0.2,0.3,0.6}	{0.3,0.4,0.5,0.6}	{0.3,0.4,0.5,0.6}
C ₄₂	{0.2,0.3,0.4,0.7}	{0.4,0.5,0.6,0.7}	{0.1,0.2,0.4,0.8}	{0.4,0.5,0.6,0.7}	{0.2,0.3,0.4,0.5}
C ₄₃	{0.3,0.4,0.5,0.9}	{0.3,0.4,0.5,0.6}	{0.1,0.2,0.3,0.6}	{0.3,0.4,0.5,0.9}	{0.3,0.4,0.5,0.6}
C ₄₄	{0.3,0.4,0.5,0.7}	{0.4,0.5,0.6,0.7}	{0.1,0.2,0.4,0.6}	{0.4,0.5,0.6,0.7}	{0.4,0.5,0.6,0.5}
C ₅₁	{0.4,0.5,0.6,0.7}	{0.3,0.4,0.5,0.6}	{0.2,0.3,0.4,0.5}	{0.3,0.4,0.5,0.8}	{0.3,0.5,0.6,0.7}
C ₅₂	{0.1,0.3,0.4,0.9}	{0.6,0.7,0.8,0.9}	{0.1,0.2,0.3,0.4}	{0.2,0.5,0.6,0.7}	{0.1,0.3,0.4,0.5}
C ₅₃	{0.2,0.3,0.6,0.7}	{0.3,0.4,0.5,0.9}	{0.1,0.2,0.5,0.6}	{0.3,0.4,0.5,0.7}	{0.2,0.3,0.4,0.5}

The entire set of maximum and minimum membership values are given below:

$$A^* = \{h_1^*, h_2^*, \dots, h_{19}^*\} = \{0.9, 0.9, 0.8, 0.8, 0.9, 0.9, 0.9, 0.8, 0.7, 0.9, 0.9, 0.9, 0.8, 0.8, 0.9, 0.7, 0.8, 0.9, 0.9\}$$

$$A^- = \{h_1^-, h_2^-, \dots, h_{19}^-\} = \{0.2, 0.1, 0.1, 0.1, 0.1, 0.2, 0.2, 0.1, 0.1, 0.1, 0.1, 0.1, 0.1, 0.1, 0.1, 0.1, 0.2, 0.1, 0.1\}$$

In the next step, the PIS (D^+) and NIS (D^-) values are calculated by using the hesitant fuzzy decision matrix, normalized weights and membership values in Eqs. (6, 7 and 8). An example computation is given for the first alternative (A1).

$$D^+ = \left[0.05 * \frac{|0.4-0.9|+|0.6-0.9|+|0.7-0.9|+|0.8-0.9|}{4} \right] + \dots + \left[0.056 * \frac{|0.2-0.9|+|0.3-0.9|+|0.6-0.9|+|0.7-0.9|}{4} \right] = 0.344$$

$$D^- = \left[0.05 * \frac{|0.4-0.2|+|0.6-0.2|+|0.7-0.2|+|0.8-0.2|}{4} \right] + \dots + \left[0.056 * \frac{|0.2-0.1|+|0.3-0.1|+|0.6-0.1|+|0.7-0.1|}{4} \right] = 0.468$$

Lastly, relative closeness values are calculated with the computation given in Eq.(9). For instance, the relative closeness value of the 1st alternative is found as 0.53 as represented below.

$$C_1 = \frac{0.468}{0.344+0.468} = 0.527$$

The same steps were followed for each alternative and relative closeness values were calculated as in Table 3. The highest relative closeness value is inferred as the best alternative. In this case, the website of the A₂ is the best alternative. It is followed by A₄, A₁ and A₅, respectively. As presented in Table 3, A₃ is evaluated as the worst website.

Table 3. Separation values, relative closeness and final rank of each alternative

ALTERNATIVES	D+	D-	C _i	RANK
A ₁	0.347	0.387	0.527	3
A ₂	0.286	0.448	0.611	1
A ₃	0.538	0.195	0.266	5
A ₄	0.299	0.434	0.592	2
A ₅	0.437	0.297	0.405	4

4.3. Sensitivity Analysis

Any change in the weights of the five main criteria used in decision making problem of evaluating the hotels' websites might affect the final decision. Therefore, a sensitivity analysis was carried out depending on the weight of each main criterion. In the sensitivity analysis performed using MS Excel version 2016, the relative closeness values of the alternatives were examined by changing the degree of the total significance weight of each main criterion in the range [0-1]. The relative closeness values calculated according to the weight change of all alternatives are given in Tables 4 and 5. The values are also illustrated in Figure 5.

Table 4. Sensitivity analysis values for "Trust", "Information Quality" and "Customer Relationship"

WEIGHT	TRUST					INFORMATION QUALITY					CUSTOMER RELATIONSHIP				
	A1	A2	A3	A4	A5	A1	A2	A3	A4	A5	A1	A2	A3	A4	A5
0.0	0.47	0.54	0.39	0.55	0.45	0.52	0.59	0.47	0.55	0.52	0.52	0.60	0.47	0.55	0.52
0.1	0.49	0.56	0.38	0.56	0.45	0.52	0.59	0.46	0.56	0.52	0.52	0.59	0.46	0.55	0.51
0.2	0.51	0.57	0.37	0.57	0.44	0.51	0.60	0.45	0.57	0.51	0.52	0.59	0.45	0.54	0.51
0.3	0.53	0.58	0.37	0.57	0.44	0.51	0.60	0.44	0.57	0.51	0.52	0.59	0.44	0.54	0.50
0.4	0.54	0.59	0.36	0.58	0.43	0.51	0.61	0.44	0.58	0.51	0.52	0.59	0.44	0.54	0.50
0.5	0.55	0.60	0.36	0.58	0.43	0.51	0.62	0.43	0.58	0.50	0.51	0.59	0.43	0.54	0.50
0.6	0.55	0.60	0.35	0.59	0.42	0.51	0.62	0.43	0.58	0.50	0.51	0.60	0.42	0.54	0.50
0.7	0.56	0.61	0.35	0.59	0.42	0.51	0.62	0.42	0.59	0.50	0.51	0.60	0.42	0.54	0.49
0.8	0.57	0.61	0.35	0.59	0.42	0.51	0.63	0.42	0.59	0.50	0.51	0.60	0.42	0.53	0.49
0.9	0.57	0.62	0.35	0.59	0.42	0.51	0.63	0.42	0.59	0.50	0.51	0.60	0.41	0.53	0.49
1.0	0.58	0.62	0.34	0.60	0.42	0.50	0.63	0.41	0.59	0.50	0.51	0.60	0.41	0.53	0.49

Table 5. Sensitivity Analysis Values for “Design” and “Cost”

WEIGHT	DESIGN					COST				
	A1	A2	A3	A4	A5	A1	A2	A3	A4	A5
0.0	0.54	0.58	0.47	0.55	0.52	0.54	0.58	0.47	0.55	0.53
0.1	0.53	0.58	0.46	0.54	0.51	0.53	0.58	0.47	0.54	0.52
0.2	0.52	0.58	0.46	0.54	0.50	0.53	0.58	0.46	0.54	0.51
0.3	0.51	0.58	0.45	0.54	0.49	0.52	0.58	0.45	0.53	0.50
0.4	0.50	0.58	0.44	0.54	0.48	0.52	0.58	0.44	0.53	0.50
0.5	0.49	0.57	0.44	0.54	0.48	0.51	0.58	0.44	0.53	0.49
0.6	0.49	0.57	0.44	0.54	0.47	0.51	0.58	0.43	0.53	0.49
0.7	0.48	0.57	0.43	0.54	0.47	0.51	0.58	0.43	0.52	0.48
0.8	0.48	0.57	0.43	0.54	0.46	0.51	0.58	0.42	0.52	0.48
0.9	0.48	0.57	0.43	0.54	0.46	0.50	0.58	0.42	0.52	0.48
1.0	0.47	0.57	0.42	0.54	0.46	0.50	0.59	0.42	0.52	0.47

5. Discussion and Conclusion

Today, with the enhancement of information technologies, competition between firms is increasing with each passing day. Subsequently, most companies serving in the tourism sector have started to adopt different marketing strategies considering web-based innovations in the service processes. The first platform on which hotels exhibit their services is their websites. Therefore, a good website ought to capture the dynamic changes in the marketplace by evaluating all aspects of the innovations brought into throughout the time period. In this study, a model is proposed to enable hotels, especially marketing managers, to improve the performance of current hotel websites in line with customer expectations. Utilizing the proposed model, in addition to the evaluation of the websites of the hotels, the criteria that hotels should pay attention to while designing their websites are also presented. The evaluation of hotels' websites under different perspectives of decision makers is a complex, subjective and ambiguous problem. Therefore, criteria determined by utilized from detailed literature review and expert feedback and opinions are prioritized via interval type-2 fuzzy AHP approach. Afterward, alternatives are evaluated according to criteria via hesitant fuzzy TOPSIS method.

In the application study, the criteria are ranked in decreasing importance: Trust, Information Quality, Customer Relations, Cost and Design (C₁-C₂-C₃-C₅-C₄). According to weights of the criteria calculated, the best alternative is A₂, while the worst alternative is A₃. In the results of sensitivity analysis, it was determined that the alternative rank presented does not have a significant sensitivity based on the criterion weights.

For future studies, different MCDM approaches might be combined. The results of this study and new integrated method can be compared. In this study, only the hotels' websites were assessed. Due to the increasing interest in social media platforms today, the performance evaluations of hotels on these platforms can also be considered as a new criterion. In this context, the scope of study might be expanded with dynamic analysis with the help of artificial intelligence and machine learning methods in further studies.

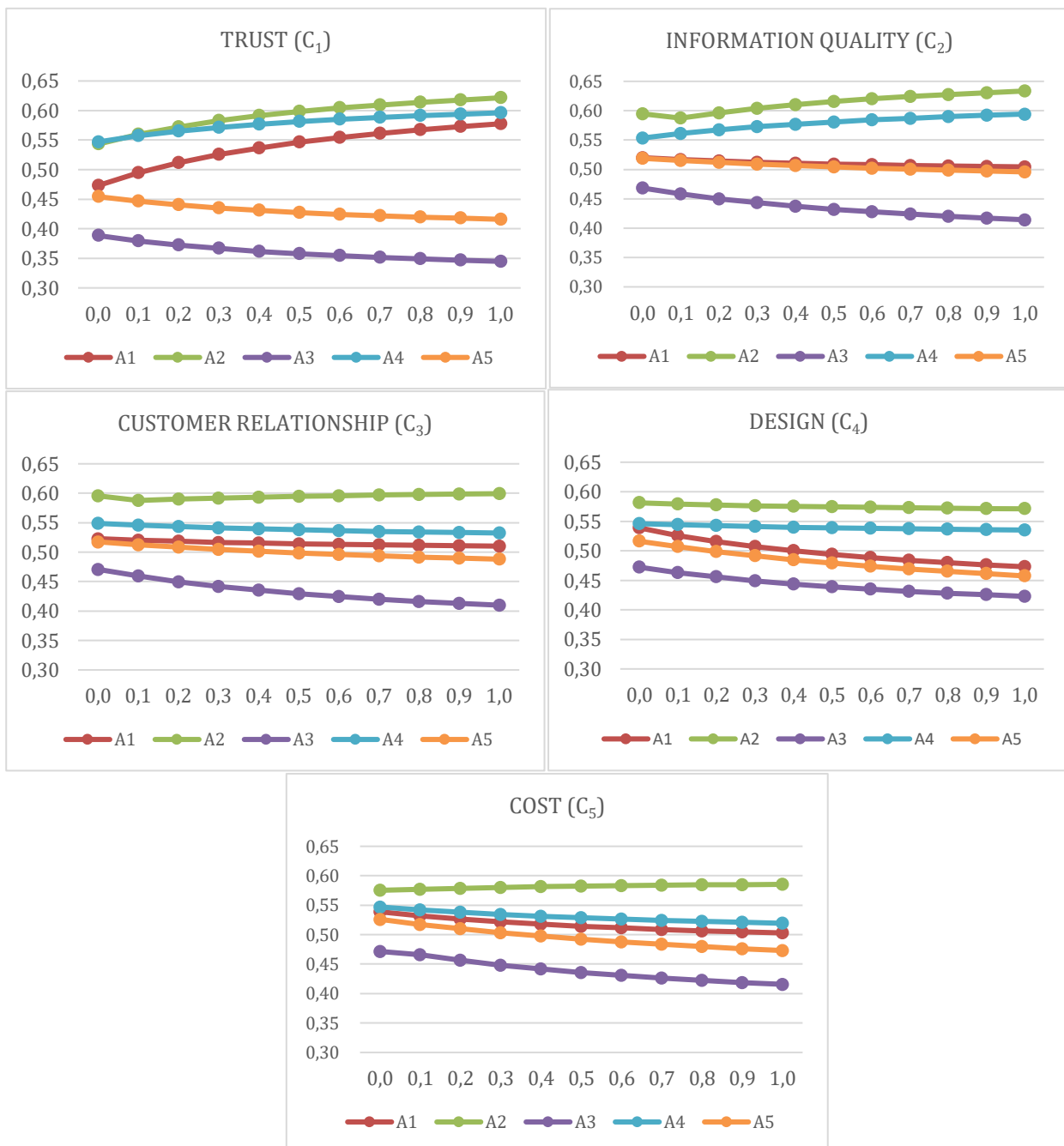


Figure 5. Sensitivity Analysis Graphs of Main Criteria in Changing Importance Weights

Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

References

Ageeva. E., Melewar. T. C., Foroudi. P., Dennis. C., Jin. Z., 2018. Examining the influence of corporate website favorability on corporate image and corporate reputation: Findings from fsQCA. *Journal of Business Research*. 89. 287-304.

Akıncılar. A., Dagdeviren. M., 2014. A hybrid multi-criteria decision making model to evaluate hotel websites. *International Journal of Hospitality Management*. 36. 63-271.

Baki. R., 2020. Evaluating hotel websites through the use of fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS. *International Journal of Contemporary Hospitality Management*. 32(12). 3747-3765.

Buhalis. D., 2019. Technology in tourism-from information communication technologies to eTourism and smart tourism towards ambient intelligence tourism: a perspective article. *Tourism Review*. 75(1). 267-272.

Chang. Y.W., Hsu. P.Y., Lan. Y.C., 2019. Cooperation and competition between online travel agencies and hotels. *Tourism Management*. 71. 187-196.

Cevik Onar. S., Oztaysi. B., Kahraman. C., 2014. Strategic decision selection using hesitant fuzzy TOPSIS and interval type-2 fuzzy AHP: a case study. *International Journal of Computational intelligence systems*. 7(5). 1002-1021.

- Çaylak. M.. 2019. Topsis Yöntemi İle En Uygun Otel Seçimi. *Oğuzhan Sosyal Bilimler Dergisi*. 1(2). 65-76.
- Di Fatta. D., Patton. D., Viglia. G.. 2018. The determinants of conversion rates in SME e-commerce websites. *Journal of Retailing and Consumer Services*. 41. 161-168.
- ÇINAROĞLU. E., ZARALI. F.. 2022. Cappadocia hotels' website quality evaluation: A multi-criteria Intuitionistic Fuzzy EDAS (IF-EDAS) method application. *Business & Management Studies: An International Journal*. 10(2). 769-786.
- Hasanat. M. W., Hoque. A., Shikha. F. A., Anwar. M., Hamid. A. B. A., Tat. H. H.. 2020. The impact of coronavirus (COVID-19) on e-business in Malaysia. *Asian Journal of Multidisciplinary Studies*. 3(1). 85-90.
- Hwang. C. L., Yoon. K.. 1981. Methods for multiple attribute decision making. In *Multiple attribute decision making*. 58-191. Springer. Berlin. Heidelberg.
- Jawabreh. O., Jahmani. A., Maaiah. B., Basel. A.. 2022. Evaluation of the contents of the five stars hotel website and customer orientation. *Information Sciences Letters*. 11(4). 1077-1085.
- Kahraman. C., Kaya. İ.. 2010. A fuzzy multicriteria methodology for selection among energy alternatives. *Expert systems with applications*. 37(9). 6270-6281.
- Kahraman. C., Öztayşi. B., Sari. İ. U., Turanoğlu. E.. 2014. Fuzzy analytic hierarchy process with interval type-2 fuzzy sets. *Knowledge-Based Systems*. 59. 48-57.
- Leung. D., Law. R., Lee. H.A.. 2016. A modified model for hotel website functionality evaluation. *Journal of Travel and Tourism Marketing*. Vol. 33 No. 9. pp. 1268-1285.
- Rodriguez. R. M., Martinez. L., Herrera. F.. 2012. Hesitant fuzzy linguistic term sets for decision making. *IEEE Transactions on fuzzy systems*. 20(1). 109-119.
- Roy. J., Kumar Sharma. H., Kar. S., Kazimieras Zavadskas. E., Saparauskas. J.. 2019. An extended COPRAS model for multi-criteria decision-making problems and its application in web-based hotel evaluation and selection. *Economic research-Ekonomiska istraživanja*. 32(1). 219-253.
- Saaty. T. L.. (1985). Decision making for leaders. *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics*. (3). 450-452.
- Samanlioglu. F., Burnaz. A. N., Diş. B., Tabaş. M. D., Adıgüzel. M.. 2020. An Integrated Fuzzy Best-Worst-TOPSIS Method for Evaluation of Hotel Website and Digital Solutions Provider Firms. *Advances in Fuzzy Systems*. 1-10.
- Senvar. O., Otay. I., Bolturk. E.. 2016. Hospital site selection via hesitant fuzzy TOPSIS. *IFAC-PapersOnLine*. 49(12). 1140-1145.
- Torra. V.. 2010. Hesitant fuzzy sets. *International Journal of Intelligent Systems*. 25(6). 529-539.
- Tran. L. T. T.. 2021. Managing the effectiveness of e-commerce platforms in a pandemic. *Journal of Retailing and Consumer Services*. 58. 102287.
- Tseng. T. H., Wang. Y. S., Tsai. Y. C.. 2021. Applying an AHP Technique for Developing A Website Model of Third-Party Booking System. *Journal of Hospitality & Tourism Research*. <https://doi.org/10.1177/1096348020986986>
- Wang. L., Law. R., Guillet. B.D., Hung. K., Fong. D.K.C.. 2015. Impact of hotel website quality on online booking intentions: eTrust as a mediator. *International Journal of Hospitality Management*. Vol. 47. pp. 108-115.
- Zadeh. L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control* 8. 338-353.
- Zadeh. L. A.. 1975. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning-I. *Information sciences*. 8(3). 199-249.



BEKLENEN İSTANBUL DEPREMİNİN İSTANBUL EKONOMİSİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ: BİR SİSTEM DİNAMİĞİ MODELİ

Çağla ALPARSLAN^{1*}, Müjgan Bilge ERİŞ¹, Melis Almula KARADAYI², Ayla ALKAN³, Duygun Fatih DEMİREL⁴, Eylül Damla GÖNÜL SEZER¹

¹ Yeditepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

² İstanbul Medipol Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

³ Beykent Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

⁴ İstanbul Kültür Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

Anahtar Kelimeler

*Deprem,
Sistem Dinamiği,
Stok Akış Modeli,
Kavramsal Döngü Modeli,
Afet Ekonomisi.*

Öz

Gerek barındırdığı nüfus gerekse hemen hemen her sektörde lider konumunda olması İstanbul'u ekonomik ve demografik açıdan Türkiye'nin en önemli ili kılmaktadır. Kenti etkileyecek şiddetli bir depremin yol açacağı can kaybı ve maddi hasar ile kısa ve uzun vadeli ekonomik etkiler kamuoyu gündemini neredeyse her gün meşgul etmektedir. Konunun önemi bu derece açık olmakla birlikte olası bir depremin ekonomik etkileri hakkında uzman görüşü dışında bilimsel yöntemlere dayalı bir çalışma mevcut değildir. Bu çalışmada olası İstanbul depreminin İstanbul ekonomisi üzerindeki etkileri sistem dinamiği yaklaşımına dayalı bir benzetim modeli ile incelenmektedir. Önerilen model temel olarak üretim ve harcama yöntemiyle gayri safi yurtiçi hasıla (GSYH) hesaplanmasında kullanılan değişkenlerin aralarındaki karmaşık ve çok yönlü nedensellik ilişkilerini yansıtmaktadır. Bu değişkenler temel olarak üretim tüketim dengesi, yurtiçi talep, ithalat, ihracat, sektör büyüklükleri, deprem sonrası toparlanma süresi gibi başlıkları ifade etmektedir. Oluşturulan temel model üzerine senaryo analizleri gerçekleştirilmiş, farklı şiddetlerde meydana gelebilecek depremlerin ekonomik etkileri analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre depremin ardından toparlanmanın uzun süreceği sektörler olmakla birlikte yoğun talebin bulunduğu sektörlerde üretim-tüketim dengesinin yeniden sağlanmasının çok uzun sürmemesi beklenmektedir. Bilindiği kadarıyla bu çalışma literatürde sistem dinamiği yaklaşımıyla afet ekonomisi konusunu birleştiren ilk çalışmadır.

INVESTIGATING THE EFFECTS OF THE EXPECTED ISTANBUL EARTHQUAKE ON THE ECONOMY OF ISTANBUL: A SYSTEM DYNAMICS MODEL

Keywords

*Earthquake,
System Dynamics,
Stock-Flow Model,
Causal Loop Model,
Disaster Economics.*

Abstract

Both its population and its leading position in almost every sector make Istanbul the most important city in Turkey in terms of economy and demographics. The loss of life and property damage caused by a severe earthquake that will affect the city and its short and long-term economic impacts occupy the public agenda almost every day. Although the importance of the subject is so clear, there is no study based on scientific methods about the economic effects of a possible earthquake except expert opinions. In this study, the effects of a possible Istanbul earthquake on the economy of Istanbul are examined with a simulation model based on the system dynamics approach. The proposed model basically reflects the complex and multidimensional causalities between the variables used in the calculation of gross domestic product (GDP) by production and expenditure methods. These variables basically refer to topics such as production- consumption balance, domestic demand, imports, exports, sector sizes, recovery time after the earthquake. Scenario analysis are performed on the base model, and the economic effects of earthquakes that may occur in different intensities are analyzed. According to the results obtained, although there are sectors where recovery will take a long time after the earthquake, it is expected that it will not take long for the production-consumption balance to be restored in sectors with high demand. To the best of our knowledge this study is the first attempt to integrate system dynamics with disaster economics.

* İlgili yazar / Corresponding author: cagla.alparslan@yeditepe.edu.tr, +90-216-578-3363

Alıntı / Cite

Alparslan, Ç., Eriş, M.B., Karadayı, M.A., Alkan, A., Demirel, D.F., Gönül Sezer, E.D., (2023). Beklenen İstanbul Depreminin İstanbul Ekonomisi Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi: Bir Sistem Dinamiği Modeli, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(4), 1410-1423.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

Ç. Alparslan, 0000-0001-8295-8922
 M. B. Eriş, 0000-0002-3719-7324
 M. A. Karadayı, 0000-0002-6959-9168
 A. Alkan, 0000-0001-8574-6052
 D. F. Demirel, 0000-0001-8284-428X
 E. D. Gönül-Sezer, 0000-0002-9237-0468

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	31.01.2023
Revizyon Tarihi / Revision Date	22.08.2023
Kabul Tarihi / Accepted Date	18.09.2023
Yayın Tarihi / Published Date	30.12.2023

INVESTIGATING THE EFFECTS OF THE EXPECTED ISTANBUL EARTHQUAKE ON THE ECONOMY OF ISTANBUL: A SYSTEM DYNAMICS MODEL

Çağla Alparslan[†], Müjgan Bilge Eriş¹, Melis Almula Karadayı², Ayla Alkan³, Duygun Fatih Demirel⁴, Eylül Damla Gönül Sezer¹

¹ Yeditepe University, Faculty of Engineering, Department of Industrial Engineering, Istanbul, Türkiye

² Istanbul Medipol University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Industrial Engineering, Istanbul, Türkiye

³ Beykent University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Industrial Engineering, Istanbul, Türkiye

⁴ Istanbul Kultur University, Faculty of Engineering, Department of Industrial Engineering, Istanbul, Türkiye

Highlights

- A system dynamics model has been proposed to show the economic impacts of the expected Istanbul earthquake.
- The proposed model adopts a balance between production and consumption.
- 11 sectors are included in the consideration of this simulation model.
- Economic consequences of the expected earthquake have been considered for two scenarios according to two different magnitudes that are expected by the scientists.

Purpose and Scope

Given Istanbul's prominent position and scale within the Turkish economy, this article aims to examine the potential economic impacts following the projected Istanbul earthquake predicted by scientists. Additionally, by considering various scenarios envisaged by researchers for the anticipated earthquake, the article seeks to investigate how the economy may be affected under different circumstances. The primary objectives of this article are to assess the economic repercussions of the anticipated Istanbul earthquake and to analyze the potential variations in its impact based on different scientific scenarios.

Design/methodology/approach

To fulfill the aforementioned objectives, system dynamics has been chosen as the methodology. Through the selected method, the aim is to observe the short and long-term effects of the earthquake on the economy. Furthermore, the simulation nature of system dynamics facilitates the examination of different scenarios.

Findings

In this study, the economy is conceptualized through 11 fundamental sectors, collectively represented in a simulation model based on production-consumption balance. To examine how these 11 key sectors would be affected by earthquakes of varying intensities, simulations were conducted for the period 2008-2018. The study assumes that the earthquake occurred in the first quarter of 2015, and the economic shock was reflected based on parameters observed in the aftermath of the 1999 Kocaeli earthquake. Subsequently, the time it takes for the economy to return to equilibrium after earthquakes of different magnitudes was observed. Sectors with prolonged recovery were noted due to the creation of new production areas resulting from the destructive force of the earthquake. However, the study also revealed the possibility of the formation of a production-consumption balance due to the extreme increase in demand for certain sectors following the earthquake.

Research limitations/implications

[†] Corresponding author: cagla.alparslan@yeditepe.edu.tr, +90-216-578-3363

While the economic framework in this article, centered around the production-consumption balance, adequately illustrates the effects on sectors, a more comprehensive examination could be conducted for industries particularly affected by the earthquake. The assessments in this study have remained at a general level. Additionally, despite the availability of economic data, it has been observed that sampling for earthquakes is challenging from a data perspective, leading to modifications of initially considered variables in the model.

Practical implications

The framework presented in this article can be applied to events such as earthquakes, terrorist attacks, pandemics, and other disasters that may impact the economy in different countries. The versatility of the framework extends its applicability to various economic-influencing events beyond the scope of the discussed earthquake scenario.

Social Implications

This study allows decision-makers and policymakers to draw insights, such as identifying sectors that need strengthening or planning the workforce for a potential earthquake. The findings of this research can inform strategic decisions and policy development in response to various scenarios, contributing to effective planning and resilience in the face of possible challenges.

Originality

This study is one of the first examples to examine the economic impacts of an earthquake using system dynamics. There are no other similar studies specifically addressing the expected Istanbul earthquake.

1. Giriş (Introduction)

Şiddeti, oluş şekli, meydana geldiği derinlik ve yere göre sonuçları farklı olmakla birlikte depremlerin can kaybı, yaralanmalar, bina, alt yapı ve ulaştırma stokları üzerinde hasara yol açtığı gibi meydana geldiği bölgenin ekonomisi üzerinde kısa ve uzun vadeli birçok etkiye de neden olmaktadır. Türkiye’de deprem denilince akla ilk gelen olaylardan 1999 Gölçük ve Düzce depremleri sonucunda farklı sektörlerdeki ekonomik kaybın 1.1 milyar ile 4.5 milyar ABD Doları arasında olduğu tahmin edilmekte (Bibbee vd., 2000) ancak söz konusu depremlerin ya da Türkiye’de yaşanmış diğer depremlerin uzun vadeli ekonomik sonuçlarını tam anlamıyla inceleyen bilimsel bir çalışma yok denecek kadar azdır. Zaman zaman çeşitli basın organlarında Marmara Bölgesi’nde yaşanması olası ve özellikle İstanbul’u doğrudan etkileyecek yıkıcı bir depremin ülke ekonomisi açısından büyük bir felakete yol açabileceği uzman görüşlerine dayalı çeşitli sayısal tahminlerle gündem olmakla birlikte bahsi geçen tahminler temel olarak literatürde kullanılan afetlerin ekonomik sonuçlarını kestirmeye yönelik yöntemlere dayanmamakta, sadece uzman yorumlarını içermektedir.

15,8 milyonun üzerinde kişi ile Türkiye nüfusunun yaklaşık %18,7’sini barındıran (TÜİK, 2022^a) İstanbul, 2021 verilerine göre ülke GSYH’sinin %30,4’ünü oluşturmaktadır (TÜİK, 2022^b). İstanbul’un ticaret, sanayi, finans, bilişim, ulaştırma, turizm, sanat ve eğitim gibi her alanda Türkiye’nin sürükleyici gücü ve neredeyse tüm ekonomik faaliyetlerde açık ara lider konumunda olması şehri etkileyecek büyük bir depremin yalnızca İstanbul için değil, tüm Türkiye için olumsuz sonuçlar doğuracağı şüphesizdir. Fay hatlarına yakın olmasının yanı sıra bina stoğunun azımsanamayacak oranının orta ölçekli bir depreme dahi dayanamayacak durumda olması, şiddetli bir depremin İstanbul ve çevresinde ciddi can kayıpları ile yaralanmalara ve büyük ölçekli maddi hasara yol açma olasılığını artırmaktadır. Kent genelinde toplanan ekonomik faaliyetlerin şiddetli bir depreme kısa süreli dahi olsa işleyemez hale gelmesi ise sadece kısa vadede değil uzun yıllar boyunca tüm ülke ekonomisini olumsuz etkileyebilir. Muhtemel işgücü ve sermaye kaybı, üretim tesislerinin hasar görmesi, enerji hatları, telekomünikasyon ağı ve ulaşım sistemlerinin zarar görmesi, sigortacılık sektörü üzerine binecek yük, eğitim ve sağlık hizmetleri ile lojistik faaliyetlerin kesintiye uğraması sonucu oluşacak muhtemel etkiler, durumun ciddiyetini ortaya koymaktadır. 2023 yılında gerçekleşen Kahramanmaraş Depremleri nedeniyle uzman görüşlerine dayalı ilk tahminlere göre yeniden inşa ve iyileştirme maliyetinin 68 milyar dolar ile 102 milyar dolar arasında olacağı ifade edilmekte, ayrıca depremlerin ihracat GSYH ve ekonomik büyüme üzerinde önemli etkilerinin olacağı öne sürülmektedir (Bardakçı ve Demirtaş, 2023; Sayılğan, 2023). Bu açıdan bakıldığında İstanbul’u etkileyecek bir depremin olası ekonomik sonuçlarının çok daha kritik olabileceği ihtimal dahilindedir.

Bahsi geçen konunun hem İstanbul hem de tüm Türkiye için önemi göz önünde bulundurularak bu çalışmada İstanbul’u etkileyecek olası bir depremin İstanbul ve Türkiye ekonomisi üzerinde ne gibi sonuçlar doğuracağı Sistem Dinamiği (SD) yaklaşımı ile incelenmektedir. Literatürde yer alan doğal afetlerin ekonomik sonuçlarının tespiti ya da tahmin edilmesine yönelik yöntemler ise genel olarak ya statik yapılar içermekte ya da doğrusal düşünme şekline uygun olarak içerdikleri model değişkenleri arasındaki karmaşık ve doğrusal olmayan çok yönlü ilişkileri göz ardı etmektedir. Oysa SD yaklaşımına dayanan bir simülasyon modeli değişkenler arasındaki çok yönlü ve karmaşık geri dönüşüm mekanizmalarını ve doğrusal olmayan nedensellikleri yansıtmaya olanağı sunmaktadır. Önerilen SD modeli, temel olarak üretim yöntemi ve harcama yöntemiyle GSYH hesaplanması

işlemlerini temel alan değişkenleri içermektedir. Bilindiği kadarıyla literatürde herhangi bir doğal afetin ekonomik sonuçlarını SD yaklaşımı ile inceleyen bir çalışma mevcut değildir. Bu açıdan bu çalışma ile Türkiye için oldukça önemli bir konunun incelenmesinin yanı sıra afet ekonomisi literatürüne yeni bir yöntem kazandırılmış olacaktır.

SD zamanın süreklilik özelliğinin kullanıldığı, matematiksel olarak diferansiyel denklemlere dayanan ve değişkenler arası döngüsel yapılar şeklinde ifade eden bir benzetim yöntemidir. Kesikli zaman benzetimi ve ajan tabanlı benzetimden farklı olarak model değişkenleri arasındaki nedensellik ilişkileri doğrusal düşünme yapısı yerine sistem düşüncesi yaklaşımını kullanarak bütüncül olarak ele alır. Böylece gerçek yaşamda yer alan değişkenler arası çok yönlü nedensellik ilişkileri ve geri dönüşüm mekanizmalarının benzetim modeline aktarılması mümkün kılınmaktadır. Ayrıca SD genellikle toplam davranışa odaklanırken, diğer benzetim yöntemlerinde olduğu gibi ayrıntılı ve mikro seviyedeki bireysel ajan kararlarını ele almaz; bunun yerine genel eğilimleri kapsamayı hedefleyen yüksek seviyeli bir bakış açısı sunar. Tüm bunlar göz önünde bulundurularak bu çalışmaya konu olan problemin yapısı gereği SD yaklaşımının kullanılması tercih edilmiştir.

Önerilen SD modeli deprem sonrası üretim-tüketim dengesinde meydana gelecek değişimleri sektörler bazında döngüsel olarak inceleyen bir ilişkiler ağı sunmaktadır. Model temel olarak GSYH oluşumuna katkı sağlayan genel indikatörleri, ithalat ve ihracat değişkenleri ile talep ve tüketim büyüklüklerini içermekte olup deprem sonrası yaşanacak üretim tüketim dengesinin sektörler bazında toparlanma sürelerini göz önünde bulundurarak ne kadar zamanda sağlanabileceğine odaklanmaktadır. Toparlanma süreleri depremin büyüklüğüne göre değişeceği için orta ve büyük şiddetli iki farklı deprem senaryosu yaratılmış ve benzetim modeli çıktıları iki senaryo için yorumlanmıştır.

Çalışmanın ilerleyen bölümlerinde sırasıyla afetlerin ekonomik sonuçlarının incelenmesine yönelik literatür hakkında bilgi verilmekte, daha sonra SD yaklaşımından kısaca bahsedilmektedir. Arkasından probleme ilişkin önerilen kavramsal model ve stok-akış modelleri sunulmakta, çeşitli senaryolar ile çalıştırılan benzetim modeline ilişkin sonuçlar tartışılmaktadır.

2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Doğal afetlerin kısa ya da uzun süreli ekonomik etkilerinin tespiti ya da tahmin edilmesi konularına odaklanan çok sayıda çalışma mevcuttur. Afet ekonomisi şeklinde isimlendirilen bu literatürde sel (Xiao, 2011; Carrera vd., 2015; Khalid ve Ali, 2019; Das vd., 2022), yağmur fırtınası (Tan vd., 2019; Ding ve Wu, 2023), tsunami (MacKenzie vd., 2012), kasırga (Coffman ve Noy, 2011; Davlasheridze vd., 2021), tropik fırtına (Wen vd., 2018; Wang vd., 2022), orman yangını (Nielsen-Pincus vd., 2014) ve deprem (Gignoux ve Menendez, 2016; Zhao vd., 2018; Lam ve Shimizu, 2021; Chen vd., 2022; Shrestha vd., 2022; Kalantari vd., 2023) gibi çeşitli doğal afetlerin ekonomik sonuçlarının belirlenmesine yönelik farklı yöntemler kullanılmaktadır. Van der Veen (2004), literatürdeki bu çalışmalarda kullanılan yöntemleri matematiksel modeller, anketlere dayalı tahminler, ekonometrik modeller, girdi-çıkıtı modelleri, hesaplanabilir genel denge modelleri ve çoklu modeller olmak üzere altıya ayırmıştır. Kullanılan yöntemler bir afet tipine yönelik özel geliştirilmiş yöntemler olmayıp herhangi bir doğal afetin sonucunun kestirilmesinde uygulanabilir.

Deprem özelinde 2000 sonrasında yapılmış başlıca çalışmalar incelendiğinde yukarıda bahsi geçen yöntem tiplerinin hepsinin kullanıldığı görülmektedir. Brozovic vd. (2007), San Fransisco Körfezi dolaylarında meydana gelebilecek depremler için senaryolar oluşturmuş, bunlara dayalı meydana gelebilecek su kesintilerinin ekonomik etkilerinin ölçülmesi amacıyla tüketicinin su temini kesintilerini önlemek için ödeme yapma istekliliğini tahmin etmeye yönelik bir denklem oluşturmak suretiyle ekonomik kayıpları kestirmeye çalışmıştır. Zhao vd. (2018), 2008 Wenchuan depreminin etkilerini incelemek amacıyla 2003-2013 istatistiklerini kullanarak bölgesel GSYH'deki değişimleri bağımsız değişkenlerle ve kontrol değişkenleri ile açıklanmak için farkların farkı (difference-in-differences) ekonometrik modelini kullanmıştır. Schmude vd. (2018) ise turizm bölgelerinde doğal afetlerin etkilerinin yerel ve bölgesel seviyede incelenmesi amacıyla mikro-seviye etki değerlendirme (micro-level impact assessment) modeli kurmuştur. Gignoux ve Menendez (2016) ise Endonezya'nın kırsal kesimlerinde 1985 sonrası yaşanan depremler için bildirilen hasar raporları ve uzun dönem hanehalkı anketleri üzerinden maruz kalınan depremin şiddetine göre bireysel ve hanehalkı ekonomik kayıplarını (ya da kazançlarını) basit ekonometrik modellerle (sabit etki panel modeli- fixed effects panel model) uzun vadede tahmin etmeye çalışmıştır.

Bir başka çalışmada, Besstremyannaya (2017), 2011 Japonya depreminin banka kredileri üzerine etkilerini panel veri kartil regresyon modeli ile incelemiştir. Ager vd. (2020)'nin çalışmasında 1906 San Francisco depreminin bölgedeki şehirlerin nüfusları üzerine etkisi olay incelemesi regresyonları (event-study regressions) ile tahmin edilmiş, arkasından üretim verimliliği ve göç seviyeleri imalat işçisi başına ücret, kişi başına düşen imalathane sayısı gibi göstergeler üzerinden uzun vadede analiz edilmiştir.

Bibbee vd. (2000), ülkemizde yaşanan ve gerek maddi gerek manevi birçok kayba yol açan 1999 Kocaeli ve Düzce depremlerinin etkilerini ekonomik altyapıdaki zarar, işletme sektörü üzerindeki etkiler, finans sektörü üzerindeki yük, felaketin toplam ekonomik maliyetleri, afetin sosyal maliyeti (barınma, sosyal altyapı ve yeniden inşa ihtiyaçları) ve bütçe üzerindeki etkiler şeklindeki başlıklar altında uzman görüşlerine dayanarak incelemiştir. Erdik ve Durukal (2008), İstanbul'da meydana gelebilecek bir depreme karşı fiziksel ve toplumsal kırılabilirlik ile beklenen fiziksel, sosyal ve endüstriyel ekonomik kayıpları uzman görüşlerine dayandırarak özetlemiştir. Panwar ve Sen (2019), genel olarak doğal afetlerin ekonomik etkilerini analiz etmek amacıyla sistem genelleştirilmiş momentler metodu ile çeşitli kontrol değişkenlerini kullanarak 1981-2015 yılları arası 102 ülkeye ait panel verisinden faydalanmıştır. Chatterjee ve Okazakia (2018), 2015 Nepal depremi sonrası bölgedeki dükkan sahipleriyle yapılan saha görüşmeleri sonucunda altı tip varlık belirlemiş, bu varlıkların afet sonrası durumdaki çeşitli başa çıkma stratejileriyle bağlantılı olduğunu göstermiştir. Elde ettikleri bulgular, depreme dayalı geçim sıkıntısının ortadan kaldırılması için sermaye kullanımının yoğunlaştırılarak artırılması, sosyal sermayeye bağımlılık, tüketim ve harcamaların azaltılması şeklinde başa çıkma stratejilerinin etkinliğini ortaya koymaktadır. Benzer şekilde Best ve Burke (2019) de tüketim, ihracat, ithalat, yatırım, nüfus, GSYH ve kişi başı GSYH gibi göstergeler üzerinden sentetik kontrol metodu ile 2010 Haiti depreminin etkilediği alanlar ve etkilemediği yerlerdeki makroekonomik verileri kıyaslamıştır.

Yukarıda bahsedilen yöntemlerin yanı sıra literatürde afetlerin ekonomik boyutlarını tahmin amaçlı yaygın olarak kullanılan bir diğer yöntem hesaplanabilir genel denge modeli ve varyantlarıdır. Tatano ve Tsuchiya (2008), 2004 Niigata-Chuetsu depremi için mekansal hesaplanabilir genel denge modeli (spatial computable general equilibrium model) ile ulaşım ağlarında meydana gelen kesintilerin ekonomik boyutlarını incelemiştir. Çalışma kapsamında afet öncesi ulaşım sisteminden sorumlu firmanın kazançları, hane halkının kazandığı fayda ve bölgesel tüketici ve üretici fiyatları ile afet sonrası sermaye, işgücü ve emtia piyasasının denge koşulları belirlenmiş; aradaki fark, afet kaynaklı ekonomik kayıp olarak tahmin edilmiştir. Huang ve Hosoe (2017) de Kuzey Tayvan'da nükleer bir santrali etkileyen hipotetik bir depremin uzun vadede doğuracağı sonuçları gidermeye yönelik destek programlarının maliyet ve etkinliklerini bir dinamik hesaplanabilir denge modeli ile incelemişlerdir.

Afetlerin ekonomik kayıplarının incelendiği çalışmalarda işlem kolaylığı nedeniyle sıkça karşılaşılan bir diğer yöntem ise girdi-çıkıtı modeli ve varyantlarıdır. Bu tip yöntemlerde doğrusal bir denklem yoluyla sektörler arası üretilen ve tüketilen mal ve hizmetler temsil edilmektedir. Ham vd. (2005), genel olarak afetlerin ekonomik etkilerini belirlemek amacıyla girdi-çıkıtı ve ürün ulaşım ağını içeren bir bölgelerarası hammadde hareket modeli önermektedir. Okuyama vd. (2002) ise girdi-çıkıtı modelinin bir uzantısı olan aşamalı endüstri modeli (sequential industry model) ile şok yaratan felaketlerin üretim çıktıları üzerine etkilerini incelemiştir. Ardından farklı bölgeselleştirmeler kullanılarak uygulanmıştır. Bir başka çalışmada ise Okuyama (2004), uzamsal etki modeli (spatial impact model) şeklinde geliştirilmiş girdi-çıkıtı analizi uygulaması yaparak yine depremlerin temel ekonomik etkilerini analiz etmiştir. Yakın zamanda yapılan bir diğer çalışmada Ogawa vd. (2019), olası doğal felaketler sonrasında hizmet ve tedarik zincirlerinde karşılaşılabilecek ekonomik kayıpları dinamik denklem sistemi ile tahmin etmiştir. MacKenzie vd. (2012) ise felaketler sonucunda karşı karşıya kalınacak tedarik problemlerini çok bölgeli girdi-çıkıtı analizi ile incelemiştir.

Literatürdeki bu çalışmalarda temel olarak ya statik modeller kullanılmış ve değişkenlerin dinamik yapıları göz ardı edilmiş ya da ekonomik sistemlerdeki mevcut karmaşık ve doğrusal olmayan çok yönlü nedensellik ilişkileri ve geri dönüşüm mekanizmaları doğrusal bir düşünme yapısı ile alınmıştır. Oysa ekonomik sistemlerin karmaşık, çok katmanlı ve dinamik yapılarının bu tarz modellerle temsil edilmesi modellerden alınacak çıktıların güvenilirliği hakkında akıllarda soru işaretleri bırakmaktadır. Lineer olmayan ilişkiler ağının modellenmesinde önemli bir araç olan Sistem Dinamiği (SD) yaklaşımı biyolojik ve ekonomik sistemlerin modellenmesi amacıyla girdi-çıkıtı modeli ile hibrit şekilde önerilmiş olsa da (Li ve Wang, 2013; Uehara, Cordier ve Hamaide, 2018) afet sonrası ekonomik problemlerin analizi ve iyileştirilmesi alanında bildiğimiz kadarıyla daha önce kullanılmamıştır. Ancak SD'ye dayalı bir yöntemin ekonomik sistemlerin karmaşık ve dinamik yapısını yansıtmada etkin bir araç olduğu bilinmektedir. SD'nin değişkenler arasındaki karmaşık ve çok yönlü nedensellik ilişkilerini doğrusal yaklaşım yerine geri dönüşüm mekanizmaları içeren döngüsel bir şekilde incelemesi özelliği SD'yi deprem gibi afetlerin kısa ve ekonomik etkilerinin incelenmesi amacıyla kullanılabilir etkin bir araç kılmaktadır. Bütün bunlar göz önünde bulundurularak bu çalışmada deprem sonrası ekonomide meydana gelebilecek etki ve değişimlerin SD ile incelenmesi uygun bulunmuştur. Böylece literatürde ilk defa afet ekonomisinin araştırılmasında SD yaklaşımının kullanılması önerilmektedir.

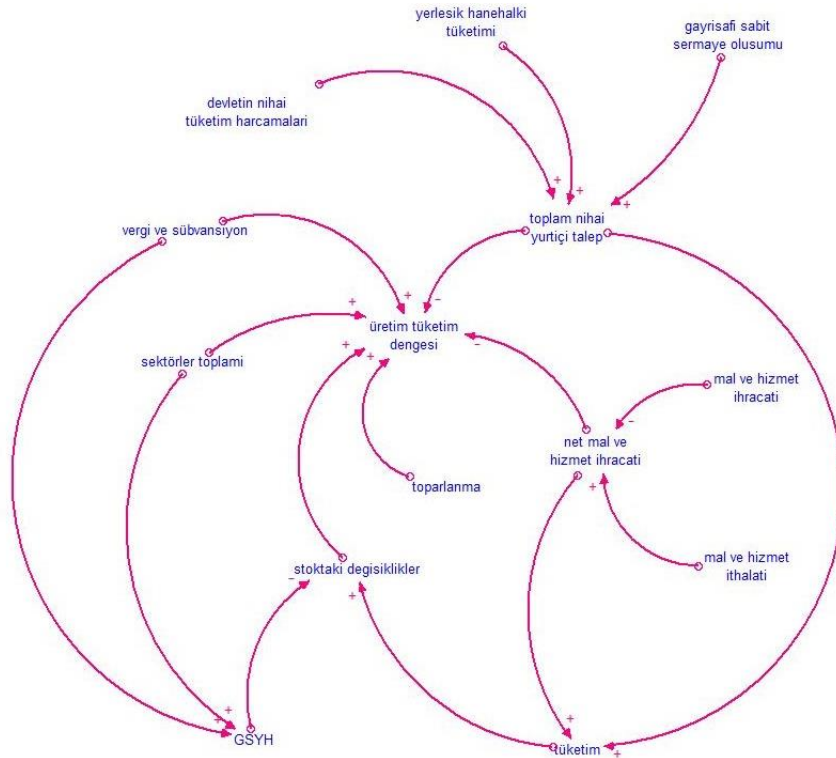
3. Metodoloji (Methodology)

Sistem Dinamiği (SD), doğrusal olmayan ilişkilerin tanımlanması için kullanılan bir benzetim yöntemidir (Sternan, 2000). Burada nedensellik, değişkenler arasındaki geri bildirim döngülerini yansıtır ve yöntemin gücü aslında bu

geri bildirim yapısından ve bu geri bildirimler nedeniyle davranışlarda meydana gelen gecikmelerden gelir. SD'de modellemenin farklı aşamaları vardır. İlk önce kavramsal model geliştirilir ancak modelleme için bir zorunluluk değildir (Peterson ve Eberlein, 1994). SD modellerinin en önemli aşaması, sistemin stok akış temsildir. Burada stoklar, zamanla birikir ve sistem durumunu yansıtır. Stok değişkenleri, yalnızca akış değişkenleri tarafından tetiklenebilir ve bunlar dikdörtgenlerle temsil edilir (Richmond, 2001). Akış değişkenleri, giriş ve çıkışlar olarak sistem durumuna hareketi verir. Girişler, temel olarak stokların seviyesini artırır ve çıkışlar, ilgili stok değişkenlerinin değerlerini tüketir. Aslında, stok akış gösterimi, model stok değişkenlerinin aynı yönüne sahip matematiksel ilişkilerle desteklenmelidir. Burada modelleyici, matematiksel ilişkileri temsil etmek için bazı yardımcı değişkenlere ihtiyaç duyar; SD'de bu değişkenlere dönüştürücüler denir ve dairelerle temsil edilirler. SD modellerinin matematiksel altyapısı, diferansiyel denklemlerle geliştirilmiştir (denklemler ekte verilmiştir). Stok değişkenleri, birikim noktalarıdır ve bu nedenle değişiklikler için ana değişkenlerdir. Stok akış gösterimi ve matematiksel altyapısı açısından model geliştirildikten sonra, modelin geçerliliği kontrol edilmelidir. Model, hem yapısal hem de davranışsal doğrulama adımlarını yerine getirdikten sonra, politika ve senaryo analizi için kullanılabilir (Barlas, 1996). SD, farklı senaryoların ve politikaların uzun ve/veya kısa vadeli sonuçlarının incelenmesini sağlar. Ayrıca gözlemler sonucunda yeni politikalar geliştirme şansı tanır.

4. Kavramsal Model (Causal Loop Diagram)

Üretim tüketim dengesi, 'vergi ve sübvansiyon' ve 'sektörler toplamı'nın temsil ettiği üretim ile 'net mal ve hizmet ihracatı' ve 'toplam nihai yurtiçi talep'in temsil ettiği tüketim arasındaki fark ile bulunmaktadır. 'Toplam nihai yurtiçi talep' bölgedeki toplam talebi ifade etmekte ve 'devletin nihai tüketim harcamaları', 'yerlesik hanehalkı tüketimi' ve 'gayrisafi sabit sermaye oluşumu'ndan etkilenmektedir. 'Net mal ve hizmet ihracatı' bölgedeki ithalat ve ihracatın farkını göstermektedir. İthalattaki artış net mal ve hizmet ihracatını arttırırken, ihracattaki artış bu değeri düşürmektedir. Toplam üretimi temsil eden 'GSYH', 'vergi ve sübvansiyon' ile 'sektörler toplamı'ndan etkilenmektedir. Üretim ve tüketimin dengede kalması, diğer bir deyişle 'üretim tüketim dengesi'nin sıfır değerini alabilmesi için modele dahil edilen 'stoktaki değişiklikler' toplam üretim ve tüketim arasındaki fark ile bulunmakta ve 'toparlanma' ile birlikte üretim ve tüketimi dengede tutmaktadır. Şekil 1, ekonomik göstergelere ait çalışma kapsamında kullanılan değişkenlerin nedensel ilişkilerini sergilemektedir.

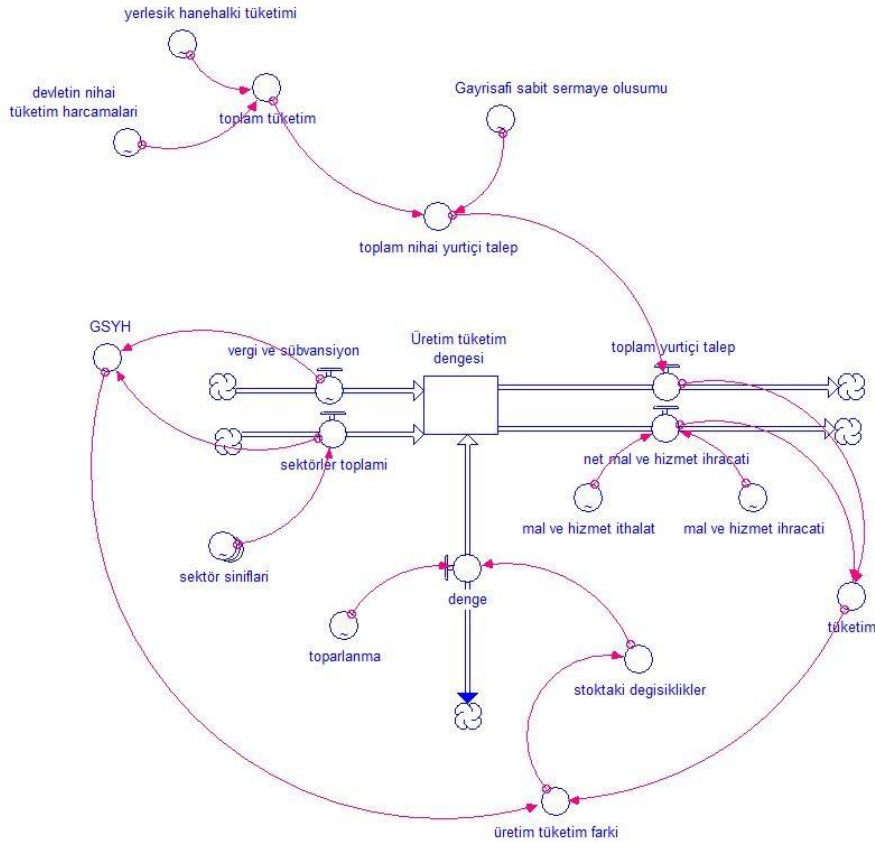


Şekil 1. Üretim-tüketim dengesi kavramsal modeli (Causal loop diagram of production-consumption balance)

5. Benzetim Modeli (Simulation Model)

GSYH, bir ülkedeki ekonomik faaliyetlerin hepsini kapsar ve ekonominin gücüne ait bir temsil ortaya koymaktadır. Dolayısıyla ekonominin nasıl gittiğine dair bilginin net bir şekilde temsili, GSYH ile gerçekleşir. GSYH'nin ölçümü

için literatürde 3 farklı yöntem gösterilmektedir. Bunlar sırasıyla harcama yöntemi ile, gelir yöntemi ile ve üretim yöntemi ile GSYH'dir. Hangi yöntemle hesaplamaların yapıldığından ziyade, üç yöntemden hangisi kullanılırsa kullanılsın çıkan değerlerin birbirine eşit olması gerekmektedir. Başka bir deyişle, ekonomideki denge noktası bunun üzerine kuruludur. Bu bakış açısından yola çıkılarak kurulan benzetim modelinde, üretim-tüketim dengesi kurulmuş ve GSYH ise üretim yöntemi ile ayrıca hesaplanarak modelde temsil edilmektedir. Değişkenler arası matematiksel ilişkiler ise 1998-2018 yılları arası TÜİK ekonomik göstergeler üzerinden elde edilmiştir.



Şekil 2. Üretim-tüketim dengesi SD modeli (SD model of production-consumption balance)

Şekil 2'de verilen benzetim modeli STELLA 9.1.2 versiyonunda yapılmıştır. Şekilde temsil edilen modelde, 'vergi ve sübvansiyon' ve 'sektörler toplamı' üretimi temsil eden akış değişkenleridir. Bu akış değişkenleri, 'üretim tüketim dengesi' adı verilen stok değişkenini etkilemektedir. 'Üretim tüketim dengesi' stok değişkeninde dengenin kurulabilmesi için bu değişkenden çıkan akış değişkenleri ise tüketimi ifade etmektedir. Tüketim, 'toplam yurtiçi talep' ve 'net mal ve hizmet ihracatı' ile tanımlanmaktadır. Ekonomik göstergelerde, 'net mal ve hizmet ihracatı', ithalat (dışalım) ve ihracat (dışsatım) arasındaki farktan bulunmaktadır. 'Net mal ve hizmet ihracatı' ihracatın ithalata göre az olması durumunda negatif değer alacaktır, ilişki mutlak değer ile anlatılmamaktadır. Literatürde, 'üretim tüketim dengesi'nin sağlanabilmesi için daha önce bahsedilen üç farklı GSYH hesaplama yönteminde de aynı sonucun alınabilmesi için hata payını ifade eden 'stoktaki değişiklikler' değişkeni benzetim modelinde de temsil edilmektedir. 'Stoktaki değişiklikler', 'toplam yurtiçi talep' değişkenine hata payının eklenmesini sağlamak ve böylece 'üretim tüketim dengesi'ni sıfırda dengede tutmaktadır. Deprem nedeniyle yaşanacak ekonomik şokların modele eklenmesi sonucunda bozulacak dengenin ne kadarlık bir gecikme ile gerçekleşeceğinin gözlemlenmesi mümkündür. 'Toparlanma' bozulan üretim-tüketim dengesinin tekrar sıfır değerine ulaşması için gereken toparlanma süresini temsil etmektedir. 'Tüketim' değişkeni toplam nihai yurtiçi talep ile net mal ve hizmet ihracatı değişkenlerine bağlı oluşan toplam tüketimi göstermektedir. Üretim ve tüketim arasındaki fark ise 'üretim tüketim farkı' değişkeni ile model üzerinde ifade edilmiştir. Modelin varsayımları ise şu şekilde sıralanabilir:

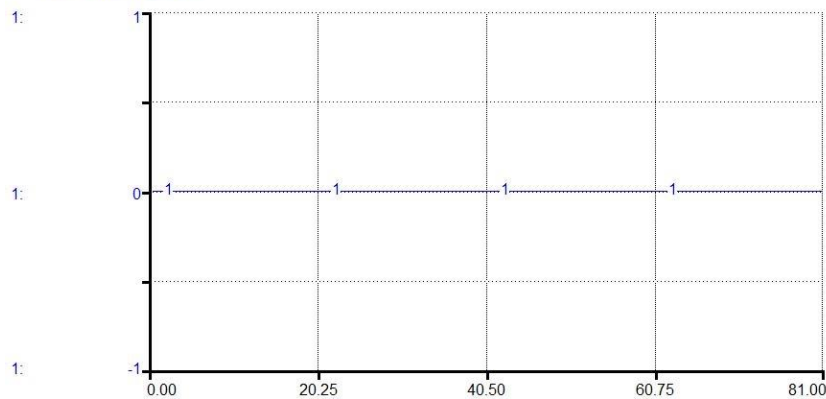
- 1) Ekonomik denge her zaman korunmaktadır.
- 2) Deprem sonrası devlet harcamalarının bir kısmı yardımlar olarak yerine getirilmekte ve diğer devlet harcamalarında kısıtlamaya gidilmektedir.
- 3) Deprem ekonomik etkisi her zaman, benzetim modeli üzerinde şok etkisinin oluşturulduğu ilk çeyrek sonrasında etkisini göstermektedir.

Modelin tüm değişkenleri ve değişkenlere ait tanımlar, Tablo 1'de verilmektedir.

Tablo 1. Model değişkenleri ve değişken tanımları (Model variables and variable definitions)

DEĞİŞKEN İŐMİ	ANLAMI	BİRİMİ
Üretim tüketim dengesi	Şok etkilerinin yaşanmadığı durumlarda bu denge denkleminin üretim ve tüketimin eşit olması gerekliliğinden sıfır değerini alacaktır.	1000₺
Vergi ve sübvansiyon	Vergi ve devletin kurum ve kişilere yaptığı karşılıksız yardımların tümünü	1000₺/çeyrek
Sektörler (sektör sınıfları)	Tarım, ormancılık ve balıkçılık; sanayi; imalat sanayi; inşaat; ticaret, ulaştırma ve konaklama; bilgi ve iletişim; finans ve sigorta faaliyetleri; gayrimenkul faaliyetleri; mesleki, idari ve destek hizmet faaliyetleri; kamu yönetimi; eğitim; insan sağlığı ve sosyal hizmet faaliyetleri; diğer hizmet faaliyetleri	1000₺/çeyrek
GSYH	Gayri safi yurtiçi hasıla	1000₺/çeyrek
Mal ve hizmet ithalatı	Başka bir ülkede üretilen ürün ve/veya hizmetin başka bir ülke tarafından satın alınması	1000₺/çeyrek
Toplam yurtiçi talep	Nihai yurtiçi talep ve stoktaki değişimlerin toplamı	1000₺/çeyrek
Net mal ve hizmet ithalatı	Mal ve hizmet ihracatı ile mal ve hizmet ithalatı arasındaki fark	1000₺/çeyrek
Mal ve hizmet ihracatı	Ülke dışına yapılan ürün ve hizmet satıŐları	1000₺/çeyrek
Stoktaki değisiklikler	Harcama yönünden GSYH ile üretim yönünden GSYH arasındaki farkı bir hata olarak içermekte olup dengenin sağlanmasına yarayan bir hata payı	1000₺/çeyrek
Toplam nihai yurtiçi talep	Hem özel hem de kamuya ait yatırım ve tüketim harcamalarının toplamı	1000₺/çeyrek
Gayrisafi sabit sermaye olusumu	Üretilmiş olan ve/veya elde edilen ürünlerin sabit varlık değerini ölçmek için kullanılan bir değişkendir, sadece özel sektör sabit değil kamu sabit varlıkları da bu kalemde hesaplanmaktadır.	1000₺/çeyrek
Toplam tüketim	Yatırım, devlet harcamaları, ithalat ve ihracat harcamalarının tümünün içeriildiği bir ekonomik gösterge-	1000₺/çeyrek
Devletin nihai tüketim harcamaları	Devlet harcamaları	1000₺/çeyrek
Yerlesik hanehalkı tüketimi	Hanehalkı harcamaları	1000₺/çeyrek
Toparlanma	Üretim-tüketim dengesinin kurulması için gereken toparlanma süresinin oranı	Birimsiz
Tüketim	Toplam nihai yurtiçi talep ve net mal ve hizmet ihracatına bağlı toplam tüketim	1000₺/çeyrek
Üretim tüketim farkı	Üretim ve tüketim arasındaki fark	1000₺/çeyrek

1: Üretim tüketim dengesi

**Şekil 3.** Mevcut duruma göre üretim-tüketim dengesi (Production-consumption balance for the current system)

Benzetim modeli, 1998 yılı ilk çeyreği ile 2018 yılı ikinci çeyreği arasındaki süre için çeyreklik olarak çalıştırılmıştır. Şekil 3'te görüleceği üzere üretim-tüketim dengesi süreç boyunca hep sıfır değerini alarak dengede kalmıştır.

Tüm uygulamalarda olduğu gibi SD modellerinde de, model üzerinden çıkarımlar yapılmadan evvel doğrulama ve geçerlilik adımlarının sağlanması gerekmektedir. Bu benzetim modeli için bir dizi uygulama yapılmıştır. Önce birim tutarlılık testleri yapılmıştır. Tutarlılık testi öncesi tüm değişkenlerin birimleri kontrol edilmiş ve birimlerin tutması için kukla değişken ve/veya gerçek dışı bir verinin kullanılmadığından emin olunmuştur. Ardından modelin temsil ettiği problem ile örtüşmesi, konsept olarak uygunluğu gözden geçirilmiştir. Bu aşamada literatür ve ekonomik göstergeler ile modelde yer alan değişkenler ele alınmış ve analiz edilmiştir. Bu analiz sonrası yeterli bulunan değişkenlerin arasındaki matematiksel ilişkiler de kontrol edilmiş ve modele doğru yansıtıldığı kesinleştirilmiştir. Böylece yapısal geçerlilik testleri başarıyla tamamlanmıştır. Yapısal geçerlilik sağlandıktan sonra ise SD’de ikinci geçerlilik testi davranışsal geçerliliğin sağlanmasıdır. Davranışsal geçerlilikte kasıt, modelin gerçekteki davranışını sergilemesidir. Davranışsal geçerliliğin sınanması amacıyla bu çalışma kapsamında, ‘stoktaki değişiklikler’ adlı değişkenin gerçek değerleri ile model sonuçları eşleştirilmiş t-test ile incelenmiştir. Tablo 2’de sonuçları paylaşılan eşleştirilmiş t-test sonucuna bakıldığında modeldeki tüm girdi ve çıktılarının bilgisini içeren ‘stoktaki değişiklikler’ değişkeninin 1998’den bu yana gerçek verileri ile simülasyon sonuçları karşılaştırılmıştır. 81 çeyreği içeren gerçek ve benzetim modeli sonuçlarına ait tanımlayıcı istatistikler de yine aynı tabloda özetlenmiştir.

Tablo 2. ‘Stoktaki değişiklikler’ değişkenine ait tanımlayıcı istatistik ve eşleştirilmiş t-test sonuçları
(Descriptive statistics and paired t-test result for ‘stoktaki değişiklikler’)

	N	Ortalama	Standart Sapma	SE Ort.
C1	81	571831	2252221	250247
C2	81	563690	3594666	399407
t-Test	H ₀ : $\mu_{\text{fark}} = 0$ H ₁ : $\mu_{\text{fark}} \neq 0$	t-değeri 0.03	p-değeri 0.977	

Tablo 2’de elde edilen sonuçlar ışığında iki veri arasında anlamlı bir fark bulunmadığı kanıtlanmış ve davranışsal geçerlilik bu şekilde sağlanmıştır. Modelin güvenilirlik testlerini geçmesinden sonra ise farklı senaryoların incelenmesine geçilmiştir.

6. Farklı Senaryoların İncelenmesi (Examining Different Scenarios)

Deprem her değişken üzerindeki etkileri farklılık göstermektedir. İncelenen 11 sektör dikkate alındığında bazı sektörlerde ciddi kayıplar gözlenirken bazı sektörlerde dikkate alınacak etkiler gözlemlenmemiştir. Deprem ilk etapta büyük kayıplara yola açtığı iki önemli sektör ‘gayrimenkul faaliyetleri’ ve ‘inşaat’ sektörleridir. Ancak bu iki sektörün önemi düşünüldüğünde devletin deprem sonrası politikaları kapsamında ilk olarak bu sektörlerin toparlandığı gözükmemektedir. Diğer önemli sektörler ise ‘imalat sanayi’, ‘imalat’ ve ‘ticaret, ulaştırma ve konaklama’ sektörleridir. Bu sektörlerde kayıpların nispeten daha az olduğu görülmektedir ancak toparlanma süreleri de daha uzun olmaktadır. Deprem ekonomik kayıplara sebep olduğu en önemli değişkenlerden birinin de net mal ve hizmet ihracatı olduğu söylenebilir. Üretimdeki azalma düşünüldüğünde en ciddi darbelerden birini net mal ve hizmet ihracatı değişkeni almıştır. Deprem bölgesinde bu süreçte ilk etapta hanehalkı tüketiminde düşüşler görülse de kısa bir süre içerisinde bu durum eski haline dönmektedir. Ancak bu bölgede depreme bağlı devletin vergi politikasının değişmesi sebebiyle vergiler ertelendiğinden veya hiç alınmadığından vergi gelirlerinde düşüşler gözlenmektedir. Ayrıca devletin nihai tüketim harcamalarında da düşüşler olduğu söylenebilir.

Bu çalışmada 2015 yılının ilk çeyreğinde meydana geldiği varsayılan bir depremin bölge ekonomisi üzerindeki etkileri gözlemlenmiştir. Bu amaçla 2015 yılı ilk çeyreği itibarıyla depremden etkileneneği düşünülen değişkenlere deprem şoku verilmiştir. Çalışma kapsamında büyük şiddetli deprem ve orta şiddetli deprem olmak üzere iki farklı senaryo incelenmiştir. Bu senaryolardaki etkiler Aktürk ve Albeni (2002), çalışmasının İstanbul’un GSYH’daki etkisi göz önüne alınarak belirlenmiştir.

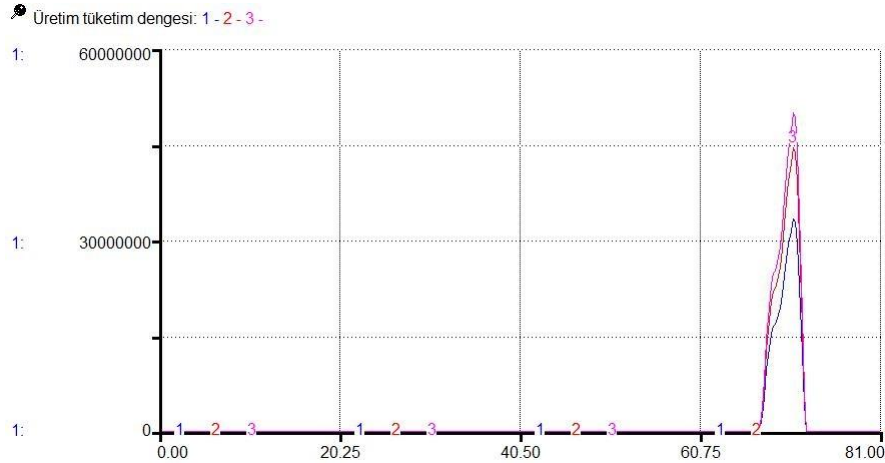
6.1. Senaryo 1: Büyük Şiddetli Bir Deprem Etkileri (Scenario 1: Effects of a Strong Earthquake)

Büyük şiddetli bir depremin daha büyük ekonomik kayıplara sebep olacağı söylenebilir. ‘İnşaat’ ve ‘gayrimenkul faaliyetleri’ sektörleri ilk etapta olumsuz etkilenecek iki büyük sektör olduğundan en büyük kayıplar bu iki sektör üzerinde gösterilmiştir. 2015 yılının birinci ve ikinci çeyreklerinde sırasıyla %30 ve %15’lik kayıplar olabileceği düşünülmüştür. İstanbul-Tekirdağ-Kocaeli bölgesinin sanayi bölgesi olması göz önüne alındığında ‘imalat sanayi’ ve ‘sanayi’ sektörlerinde de ciddi kayıplar olması beklenmektedir. Ayrıca bu sektörlerin toparlanma sürelerinin nispeten daha uzun olması beklendiğinden bu iki sektör için kayıpların 2015 ilk çeyrek için %25, ikinci çeyrek için %20, üçüncü çeyrek için %15 ve dördüncü çeyrek için %10 olacağı düşünülmüştür. ‘Ticaret, ulaştırma ve konaklama’ sektörü ise ilk etapta ciddi bir hasar olsa da kısa bir sürede toparlanacağı için ilk çeyrek için %20 ve

ikinci çeyrek için %6'lık kayıp beklenmektedir. Bahsi geçen bölgeden bir süre vergi gelirleri elde edilemeyeceğinden dört çeyreklik süre içinde sırasıyla %10, %7.5, %5 ve %2.5'lik kayıplar beklenmektedir.

Yerleşik hanehalkı tüketimi ve devletin nihai tüketim harcamaları incelendiğinde yerleşik hanehalkı tüketiminin depremden çok kısa bir süre sonra devlet yardımları ile toparlanacağı düşünülmektedir. Bu sebeple yerleşik hanehalkı tüketiminde ilk çeyrekte %45'lik bir kayıp beklense de ikinci çeyrek itibariyle durumun normale döneceği düşünülmektedir. Devlet tüketiminde ise bu sürecin dört çeyrek boyunca süreceği ve sırasıyla %20, %15, %10 ve %5'lik düşüşler olacağı düşünülmüştür.

Üretimin aldığı hasar göz önüne alındığında net mal ve hizmet ihracatında da ciddi kayıplar beklenmektedir. Bu sebeple ilk çeyrekte %40, ikinci çeyrekte %30, üçüncü çeyrekte %20 ve dördüncü çeyrekte %10'luk bir kayıp olacağı düşünülmüştür.



Şekil 4. Büyük şiddetli bir depremin üretim-tüketim dengesine etkisi
(Effect of a strong earthquake on production-consumption balance)

Şekil 4'te 1998-2018 yılları arasındaki üretim-tüketim dengesinin davranışlarını grafiksel olarak göstermektedir. Burada 2015 yılı ilk çeyreğinde gerçekleştiği varsayılan büyük şiddetli hipotetik bir depremin üretim-tüketim dengesine etkisi gösterilmektedir. Literatür incelendiğinde üretim-tüketim dengesinin sıfır seviyesinde tutulduğu gözlemlenmiştir. Ancak depremin etkileri ile bu denge bozulduğundan 2015 yılının ilk çeyreği itibariyle üretim-tüketim dengesi sıfırdan farklı değerler almaya başlamıştır. Üretim ve tüketimin toparlanması ve bu dengenin yeniden sağlanması için gereken sürenin farklı değerleri için modelin nasıl sonuçlar verdiği 'toparlanma' değişkeni üzerinden incelenmiştir. Toparlanma süresi iki çeyrek, üç çeyrek ve dört çeyrek sürerse modelin nasıl etkileeneceği Şekil 4 üzerinde gösterilmiştir. Üretim tüketim dengesi: 1-2-3 sırasıyla bahsedilen toparlanma sürelerini göstermektedir.

Tablo 3. Üretim-tüketim dengesinin mevcut durum ve Senaryo 1 için karşılaştırılması
(Comparison of base case and Scenario 1 based on production-consumption balance)

		Üretim-Tüketim Dengesi (1000₺)		
		Senaryo 1		
	Mevcut Durum	Toparlanma Süresi: 2 Çeyrek	Toparlanma Süresi: 3 Çeyrek	Toparlanma Süresi: 4 Çeyrek
2015-1	0	5,298,612.72	7,068,349.37	7,947,919.08
2015-2	0	16,548,425.18	22,075,599.20	24,822,637.78
2015-3	0	12,947,670.10	28,698,437.59	32,269,607.49
2015-4	0	0	20,308,236.51	47,229,097.06
2016-1	0	0	0	34,120,205.57
2016-2	0	0	0	0

Tablo 3, 2015 yılı ilk çeyreğinden 2016 yılı ikinci çeyreğine kadar olan sürede üretim-tüketim dengesinin farklı toparlanma süreleri için durumunu göstermektedir. 2015 yılı ilk çeyreği itibariyle üretim ve tüketim dengesi bozulmaya başlamıştır. Üretim-tüketim dengesinin tekrar kurulabilmesi için gereken süre toparlanma süresine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Toparlanma süresi uzadıkça üretim ve tüketim arasındaki dengesizliğin

büyüdüğü ve tekrar dengeye ulaştığı zamanın geciktiği görülmektedir. 2016 yılı ikinci çeyrek itibariyle depremin sebep olduğu dengesizlik tamamen ortadan kalkmış ve denge yeniden kurulmuştur.

Tablo 4. Üretim ve tüketimin mevcut durum ve Senaryo 1 için karşılaştırılması
(Comparison of base case and Scenario 1 based on production and consumption)

	Üretim (1000£)		Tüketim (1000£)	
	Mevcut Durum	Senaryo 1	Mevcut Durum	Senaryo 1
2015-1	176,259,675.96	146,087,302.84	164,158,360.70	111,351,392.30
2015-2	199,735,985.03	178,868,807.21	186,913,100.06	176,762,991.62
2015-3	220,188,101.65	209,515,719.30	189,437,956.73	186,547,297.42
2015-4	229,200,070.97	221,290,243.36	213,110,896.19	206,381,650.21
2016-1	200,665,466.64	200,665,466.64	185,293,747.65	179,588,521.50
2016-2	223,860,091.23	223,860,091.23	209,196,362.70	201,466,372.91

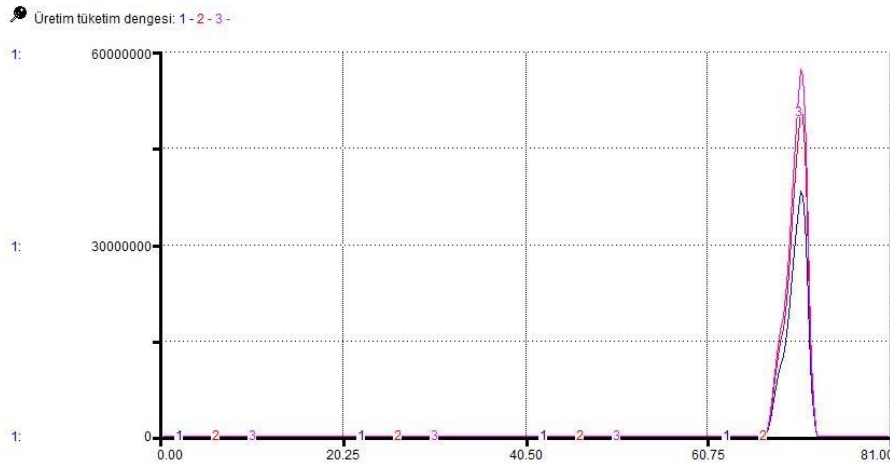
Tablo 4, büyük şiddetli bir depremin gerçekleştiği varsayılan 2015 yılı ilk çeyreğinden 2016 yılı ikinci çeyreğine kadarlık sürede üretim ve tüketim değerlerinin mevcut duruma göre nasıl değiştiğini göstermektedir. Beklendiği üzere depremin gerçekleştiği ilk çeyrekte üretim ve tüketimde ciddi kayıplar ortaya çıkmış, ancak toparlanma çalışmaları sonrasında zaman geçtikçe bu kayıplar azalmaya başlamıştır.

6.2. Senaryo 2: Orta Şiddetli Bir Depremin Etkileri (Scenario 2: Effects of a Moderate Earthquake)

Orta şiddetli bir depremin nispeten daha küçük ekonomik kayıplara sebep olacağı söylenebilir. Benzer şekilde ilk etapta diğer sektörler nazarında daha yıkıcı etkilerin beklendiği 'gayrimenkul faaliyetleri' ve 'inşaat' sektörlerinde 2015 yılının birinci ve ikinci çeyreklerinde sırasıyla %10 ve %5'lik kayıplar olabileceği düşünülmüştür. 'İmalat sanayi' ve 'sanayi' sektörlerinde benzer kayıplar olacağı düşünülmüş ancak bu kayıpların daha kısa sürede onarılacağı göz önüne alındığında 2015 ilk çeyrek için %10, ikinci çeyrek için %5'lik kayıplar düşünülmüştür. 'Ticaret, ulaştırma ve konaklama' sektöründe ise ilk çeyrek için %5'lik bir kayıp beklenmektedir. Orta şiddetli bir depremde vergi gelirlerinde büyük bir kayıp yaşanmayacağı için ilk çeyrek için %4, ikinci çeyrek için %3, üçüncü çeyrek için %2 ve dördüncü çeyrek için %1'lik bir düşüş olacağı düşünülmüştür.

Yerleşik hanehalkı tüketiminde ilk çeyrek için %15'lik bir düşüş, devletin nihai tüketim harcamalarında ise ilk çeyrek için %5, ikinci çeyrek için %2.5'lik düşüşler olacağı tahmin edilmektedir.

Net mal ve hizmet ihracatına bakıldığında ilk çeyrekte %15, ikinci çeyrekte ise %5'lik kayıplar olabileceği düşünülmüştür.



Şekil 5. Orta şiddetli bir depremin üretim-tüketim dengesine etkisi
(Effect of a moderate earthquake on production-consumption balance)

Şekil 5, orta şiddetli bir deprem sonucu üretim-tüketim dengesinin 1998-2015 yılları arasındaki durumunu grafiksel olarak göstermektedir. Grafik incelendiğinde depremin gerçekleştiği 2015 yılı ilk çeyreği itibariyle üretim-tüketim dengesi bozulmuş ancak deprem sonrası toparlanma faaliyetleri sonucunda denge yeniden kurulmuştur. Üç farklı toparlanma süresi için yapılan analizler yine tek grafik üzerinde gösterilmiştir.

Tablo 5. Üretim-tüketim dengesinin mevcut durum ve Senaryo 2 için karşılaştırılması

(Comparison of base case and Scenario 2 based on production-consumption balance)

		Üretim-Tüketim Dengesi (1000₺)		
		Senaryo 2		
	Mevcut Durum	Toparlanma Süresi: 2 Çeyrek	Toparlanma Süresi: 3 Çeyrek	Toparlanma Süresi: 4 Çeyrek
2015-1	0	3,386,207.00	4,517,200.13	5,079,310.49
2015-2	0	10,951,058.23	14,608,711.68	16,426,587.34
2015-3	0	7,186,863.35	27,748,352.20	31,201,295.58
2015-4	0	0	20,227,843.82	53,118,710.57
2016-1	0	0	0	39,110,753.43
2016-2	0	0	0	0

Tablo 5, 2015 yılı ilk çeyreğinden 2016 yılı ikinci çeyreğine kadar orta şiddetli bir depremin üretim-tüketim dengesine etkisini göstermektedir. Tıpkı büyük şiddetli bir depremde olduğu gibi depremin gerçekleştiği düşünülen 2015 yılı ilk çeyreği itibarıyla sıfır değerini alması beklenen üretim-tüketim dengesi sıfırdan farklı değerler almaya başlamıştır. Ancak bir süre sonra bu dengesizlik ortadan kalkmış ve üretim-tüketim tekrar denge durumuna gelmiştir.

Tablo 6. Üretim ve tüketimin mevcut durum ve Senaryo 2 için karşılaştırılması
(Comparison of base case and Scenario 2 based on production and consumption)

	Üretim (1000₺)		Tüketim (1000₺)	
	Mevcut Durum	Senaryo 2	Mevcut Durum	Senaryo 2
2015-1	176,259,675.96	160,061,985.58	164,158,360.70	142,810,927.37
2015-2	199,735,985.03	191,301,601.81	186,913,100.06	179,707,492.25
2015-3	220,188,101.65	219,756,077.43	189,437,956.73	186,547,297.42
2015-4	229,200,070.97	228,962,270.19	213,110,896.19	206,381,650.21
2016-1	200,665,466.64	200,665,466.64	185,293,747.65	179,588,521.50
2016-2	223,860,091.23	223,860,091.23	209,196,362.70	201,466,372.91

Tablo 6'da üretim ve tüketimin mevcut ve orta şiddetli bir deprem sonucundaki durumu karşılaştırılmıştır. Üretim ve tüketimde 2015 yılı ilk çeyreği itibarıyla düşüşler yaşanmaya başlamış, ancak bir süre sonra mevcut durum ile deprem sonucu ortaya çıkan değerler arasındaki fark azalmaya başlamıştır. Beklendiği üzere büyük şiddetli bir depremle kıyaslandığında kayıpların nispeten daha az olduğu görülmüştür.

7. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Bu çalışmada beklenen İstanbul depreminin ekonomik etkilerini doğrusal olmayan diferansiyel denklemler aracılığı ile incelenmesi amacıyla bir SD benzetim modeli oluşturulmuştur.

Önerilen modelde ekonomik denge sistemi SD benzetim modelinde tasarlanmıştır. Ardından 1998-2018 yılları arasındaki ekonomik göstergeler kullanılarak önce ekonomik denge kurgulanmıştır. Kurulan modele uygulanan farklı deprem şoku için farklı ekonomik denge senaryoları oluşturulup, toparlanma adı verilen bir değişken aracılığı ile incelenmiştir.

2015 yılı ilk çeyreği itibarıyla gerçekleştiği varsayılan büyük ve orta şiddetli deprem senaryoları için ekonomik toparlanma süreci toplam tüketimi temsil eden bazı kilit değişkenler ve 11 temel sektör üzerindeki etkileri göz önüne alınan ekonomik değişkenler için tartışılmıştır. Beklendiği üzere, orta ölçekli bir depremin yaratacağı ekonomik denge kaybının büyüklüğü daha az olmaktadır. Yıkıcı gücünün yaratacağı yeni üretim alanları nedeniyle depremin ardından toparlanması uzun süren sektörler olsa da hızlıca talebi karşılaması gereken sektörlerin varlığı nedeniyle üretim-tüketim dengesinin oturmasının ekstrem şekilde uzun olması beklenmemektedir.

Çalışma kapsamında önerilen model deprem sonrası üretim-tüketim dengesinde meydana gelecek değişiklikler ile depremin şiddetine göre farklılaşan toparlanma sürecine ilişkin genel bir açıklama sunmaktadır. Özellikle birçok değişkene ilişkin geçmişe dönük verilerin bulunmaması modelin ekonomik ilişkileri yansıtan bazı değişkenleri kapsamamasını engellemiştir. Ancak modelin geçerliliğinin sağlanmış olması modele dahil edilen verilerin ve ilişkiler

ağının genel temsil yetisine sahip olduğunu göstermektedir. Gelecek çalışmalarda bu çalışmada önerilen modelden yola çıkılarak alt sektörler düzeyinde GSYH üzerindeki değişiklikler incelenebilir. Bunun yanı sıra ileri çalışmalarda depremin etki bölgesi deprem alanı ve Türkiye'nin geri kalanı olacak şekilde ikiye ayrılabilir, böylece iki bölgeyi bir ekonomik model oluşturulabilir. Ayrıca önerilen yöntemin sadece olası depremlerin ekonomik etkilerini incelemek yerine diğer afetlerin etkilerini de araştırmak üzere modifiye edilebilir.

Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışma TÜBİTAK Araştırma Destek Programları Başkanlığı tarafından 121K925 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)

- Aktürk, P., Albeni, Y., 2002. Doğal Afetlerin Ekonomik Performans Üzerine Etkisi: 1999 Yılında Türkiye'de Meydana Gelen Depremler ve Etkileri . Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi , 7 (1), 1-18.
- Ager, P., Eriksson, K., Hansen, C.W., Lønstrup, L., 2020. How the 1906 San Francisco earthquake shaped economic activity in the American West. *Explorations in Economic History*, 77, 101342.
- Bardakçı, H., Demirtaş, F., 2023. Doğal Afetlerin Dış Ticarete Etkisi: 2023 Türkiye Depremlerine Sonuçlarının Değerlendirilmesi. *Avrasya Dosyası Dergisi*, 14 (1), 183-204.
- Barlas, Y., 1996. Formal aspects of model validity and validation in SD. *SD Review*, 12 (3), 183-210.
- Besstremyannaya, G., 2017. Heterogeneous effect of the global financial crisis and the Great East Japan Earthquake on costs of Japanese banks. *Journal of Empirical Finance*, 42, 66-89.
- Best, R., Burke, P.J., 2019. Macroeconomic impacts of the 2010 earthquake in Haiti. *Empirical Economics*, 56 (5), 1647-1681.
- Bibbee, A., Gonenc, R., Jacobs, S., Konvitz, J., Price, R., 2000. Economic Effects of the 1999 Turkish Earthquakes: An Interim Report, OECD Economics Department Working Papers, No. 247.
- Brozović, N., Sunding, D.L., Zilberman, D., 2007. Estimating business and residential water supply interruption losses from catastrophic events. *Water Resources Research*, 43 (8).
- Carrera, L., Standardi, G., Bosello, F., Mysiak, J., 2015. Assessing direct and indirect economic impacts of a flood event through the integration of spatial and computable general equilibrium modelling. *Environmental Modelling & Software*, 63, 109-122.
- Chatterjee, R., Okazaki, K., 2018. Household livelihood recovery after 2015 Nepal earthquake in informal economy: case study of shop owners in Bungamati. *Procedia Engineering*, 212, 543-550.
- Chen, Y., Song, J., Zhong, S., Liu, Z., Gao, W., 2022. Effect of destructive earthquake on the population-economy-space urbanization at county level-a case study on Dujiangyan county, China. *Sustainable Cities and Society*, 76, 103345,
- Coffman, M., Noy, I., 2012. Hurricane Iniki: measuring the long-term economic impact of a natural disaster using synthetic control. *Environment and Development Economics*, 17 (2), 187-205.
- Das, S., Sheth, A.N., Bansal, P., Chuah, J., Wasson, R., 2022. A statistical comparison of flood-related economic damage in Indian states with reflections on policy implications. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 72, 102835,
- Davlasheridze, M., Fan, Q., Highfield, W., Liang, J., 2021. Economic impacts of storm surge events: examining state and national ripple effects. *Climatic Change* 166, 11.
- Ding, W., Wu, J., 2023. Interregional economic impacts of an extreme storm flood scenario considering transportation interruption: A case study of Shanghai, China. *Sustainable Cities and Society*, 88, 104296,
- Erdik, M., Durukal, E., 2008. Earthquake risk and its mitigation in Istanbul. *Natural Hazards*, 44 (2), 181-197.
- Gignoux, J., Menéndez, M., 2016. Benefit in the wake of disaster: Long-run effects of earthquakes on welfare in rural Indonesia. *Journal of Development Economics*, 118, 26-44.
- Ham, H., Kim, T.J., Boyce, D., 2005. Assessment of economic impacts from unexpected events with an interregional commodity flow and multimodal transportation network model. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 39 (10), 849-860.
- Huang, M.C., Hosoe, N., 2017. Fiscal and social costs of recovery programs for an earthquake disaster in northern Taiwan. *Journal of Asian Economics*, 53, 1-17.
- Kalantari, M., Firuzi, E., Ahmadipour, M., Sorooshian, S., 2023. Estimating annualized earthquake loss for residential buildings in Tehran, Iran. *Bulletin of Earthquake Engineering*.
- Khalid, M.A., Ali, Y., 2019. Analysing economic impact on interdependent infrastructure after flood: Pakistan a case in point. *Environmental Hazards*, 18 (2), 111-126.
- Lam, C.Y., Shimizu, T., 2021. A network analytical framework to analyze infrastructure damage based on earthquake cascades: A study of earthquake cases in Japan. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 54, 102025.
- Li, D., Wang, X., 2013. System Dynamics Simulation Model for Port Economy Analysis. J. Xu et al. (Edt.), *Proceedings of the Sixth International Conference on Management Science and Engineering Management, Lecture Notes in Electrical Engineering* 185, içinde (s. 475-482). Londra: Springer-Verlag.
- MacKenzie, C.A., Santos, J.R., Barker, K., 2012. Measuring changes in international production from a disruption: Case study of the Japanese earthquake and tsunami. *International Journal of Production Economics*, 138 (2), 293-302.

- Nielsen-Pincus, M., Moseley, C., Gebert, K., 2014. Job growth and loss across sectors and time in the western US: The impact of large wildfires. *Forest Policy and Economics*, 38, 199-206.
- Ogawa, Y., Akiyama, Y., Yokomatsu, M., Sekimoto, Y., Shibasaki, R., 2019. Estimation of supply chain network disruption of companies across the country affected by the Nankai Trough Earthquake tsunami in Kochi City. *Journal of Disaster Research*, 14 (3), 508-520.
- Okuyama, Y., 2004. Modeling spatial economic impacts of an earthquake: Input-output approaches. *Disaster Prevention and Management*, 13 (4), 297-306.
- Okuyama, Y., Hewings, G.J., Sonis, M., 2002. Economic impacts of unscheduled events: sequential interindustry model (SIM) approach. 14th International Conference on Input-Output Techniques, October 10-15, 2002, Montréal, Canada.
- Panwar, V., Sen, S., 2019. Economic impact of natural disasters: An empirical re-examination. *Margin: The Journal of Applied Economic Research*, 13 (1), 109-139.
- Peterson, D., Eberlein R., 1994. Reality check: A bridge between systems thinking and system dynamics. *System Dynamics Review*, 10 (2-3), 159-174.
- Richmond, B., 2001. An introduction to systems thinking. Hanover: High Performance Systems, Inc.
- Sayılğan, Ş., 2023. Depremin diğer yüzü ekonomiye etkisi. <https://www.dunya.com/kose-yazisi/depremin-diger-yuzu-ekonomiyeetkisi/685741>. Son erişim tarihi: 20 Ağustos 2023.
- Schmude, J., Zavareh, S., Schwaiger, K.M., Karl, M., 2018. Micro-level assessment of regional and local disaster impacts in tourist destinations. *Tourism Geographies*, 20 (2), 290-308.
- Shrestha, S.R., Orchiston, C.H., Elwood, K.J., Johnston, D.M., Becker, J.S., Tomassi, I., 2022. Understanding the wider social and economic context of post-earthquake cordons: A comparative case study between Christchurch, Aotearoa (New Zealand) and L'Aquila, Italy. *Earthquake Spectra*, 38 (4), 2731-2753.
- Sterman, J.D., 2000. *Business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world*. Boston: Irwin McGraw-Hill.
- Tan, L., Wu, X., Xu, Z., Li, L., 2019. Comprehensive economic loss assessment of disaster based on CGE model and IO model—A case study on Beijing “7.21 Rainstorm”. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 39, 101246.
- Tatano, H., Tsuchiya, S., 2008. A framework for economic loss estimation due to seismic transportation network disruption: a spatial computable general equilibrium approach. *Natural Hazards*, 44 (2), 253-265.
- TÜİK, 2022^a. Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi Sonuçları, 2021. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=45500#:~:text=T%C3%BCrkiye%20n%C3%BCfusu%2084%20milyon%20680,252%20bin%20172%20ki%C5%9Fi%20oldu>. Son erişim tarihi: 10 Aralık 2022.
- TÜİK, 2022^b. İl Bazında Gayrisafi Yurt İçi Hasıla, 2021. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Il-Bazinda-Gayrisafi-Yurt-Ici-Hasila-2021-45619#:~:text=Ki%C5%9Fi%20ba%C5%9F%C4%B1na%20GSYH'de%202021%20y%C4%B1l%C4%B1nda%2C%20Kocaeli%20153%20bin%20479,son%20%C3%BC%C3%A7%20s%C4%B1rada%20yer%20ald%C4%B1>. Son erişim tarihi: 10 Aralık 2022.
- Uehara, T., Cordier, M., Hamaide, B., 2018. Fully Dynamic Input-Output/System Dynamics Modeling for Ecological-Economic System Analysis. *Sustainability*, 10, 1765.
- Van der Veen, A., 2004. Disasters and economic damage: macro, meso and micro approaches. *Disaster Prevention and Management: An International Journal*, 13 (4), 274-280.
- Wang, K., Yang, Y., Reniers, G., Li, J., Huang, Q., 2022. Predicting the spatial distribution of direct economic losses from typhoon storm surge disasters using case-based reasoning. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 68, 102704.
- Wen, S., Su, B., Wang, Y., Fischer, T., Li, X., Yin, Y., Jiang, T., 2018. Economic sector loss from influential tropical cyclones and relationship to associated rainfall and wind speed in China. *Global and Planetary Change*, 169, 224-233.
- Xiao, Y., 2011. Local economic impacts of natural disasters. *Journal of Regional Science*, 51 (4), 804-820.
- Zhao, R., Zhong, S., He, A., 2018. Disaster impact, national aid, and economic growth: evidence from the 2008 Wenchuan earthquake. *Sustainability*, 10 (12), 4409.

Ek (Appendix)

Üretim_tüketim dengesi(t) = Üretim_tüketim dengesi(t - dt) + (sektörler_toplami + vergi_ve_sübvansiyon + denge - toplam_yurtiçi_talep - net_mal_ve_hizmet_ihracati) * dt

INIT Üretim_tüketim dengesi = 0

INFLOWS:

sektörler_toplami = ARRAYSUM(sektör_siniflari[*])

denge = stoktaki_degisiklikler*toparlanma

OUTFLOWS:

toplam_yurtiçi_talep = toplam_nihai_yurtiçi_talep

net_mal_ve_hizmet_ihracati = mal_ve_hizmet_ithalat-mal_ve_hizmet_ihracati

GSYH = sektörler_toplami+vergi_ve_sübvansiyon

stoktaki_degisiklikler = üretim_tüketim_farki

toplam_nihai_yurtiçi_talep = Gayrisafi_sabit_sermaye_olusumu+toplam_tüketim

toplam_tüketim = devletin_nihai_tüketim_harcamaları+yerlesik_hanehalki_tüketimi

tüketim = net_mal_ve_hizmet_ihracati+toplam_yurtiçi_talep

üretim_tüketim_farki = tüketim-GSYH



NANO VE MİKRO TOZ MALZEMELERLE ÜRETİLEN YÜKSEK ISI YALITIM PERFORMANSLI VAKUM YALITIM PANELİ ÇEKİRDEKLERİNİN FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİ

Ali Ekrem AKDAĞ^{1*}, Metin DAVRAZ², Kamil DELİKANLI³

¹ Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü, Isparta, Türkiye

² Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

³ Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

Anahtar Kelimeler

*Vakum Yalıtım Panelleri,
Fiziksel ve Mekanik Özellik,
Isı Yalıtımı,
Çekirdek.*

Öz

Vakum Yalıtım Panelleri (VYP), ısı kayıplarının azaltılmasında kullanılan ve geleneksel yalıtım malzemelerine kıyasla çok daha düşük ısı iletkenlik katsayısına sahip yeni nesil yalıtım malzemeleridir. Isı iletkenlik katsayıları $\sim 3-7 \text{ mWm}^{-1}\text{K}^{-1}$ aralığında ve kalınlıkları geleneksel yalıtım malzemelerine göre 5-10 kat daha ince olabilmektedir. VYP'lerin, çekirdek malzemesi geçirimsiz bir bariyer içerisinde vakumlanır. Vakum sonrası panel üzerine uygulanan atmosfer basıncı $\sim 10 \text{ ton/m}^2$ seviyesindedir. Dolayısıyla çekirdeğin fiziksel ve mekanik özellikleri, boyutsal kararlılık açısından çok önemlidir. Yeterli mekanik özelliklere sahip olmayan çekirdekler vakumlandıktan sonra çöker ve rijit bir panel elde edilemez. Bu çalışmada, fumed silika (FS) ve alternatif tozların karışımı ile üretilen çekirdeklerin mekanik ve fiziksel özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, çekirdek üretiminde beş farklı özgül yüzey alanına (ÖYA) sahip nano ve mikro boyutta tozlar kullanılmıştır. Ayrıca karışıma %5, %10 ve %15 oranlarında cam elyafı (fiber) eklenmiştir. Karışım oranları belirlendikten sonra 20-50 kN aralığında sıkıştırma kuvvetleri uygulanarak farklı fiziksel ve mekanik özellikte 45 çekirdek panel üretilmiştir. Çekirdeklerin fiziksel ve mekanik özellikleri DIN EN 1602, DIN EN 826, DIN EN 1607 standartlarına göre test edilmiştir. Elde edilen bulgular değerlendirildiğinde, çekirdek tasarımında $\leq 10\%$ fiber ilavesi ve yüksek ÖYA'na sahip tozların çekirdek boyutsal kararlılığını ve elastisite modülünü arttırdığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak DIN EN standartlarına göre en uygun mekanik özellikleri CP-1-4 çekirdeği sağlamıştır.

PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF VACUUM INSULATION PANEL CORES WITH HIGH THERMAL INSULATION PERFORMANCE PRODUCED WITH NANO AND MICRO POWDER MATERIALS

Keywords

*Vacuum Insulation Panels,
Physical and Mechanical
Properties,
Thermal insulation,
Core.*

Abstract

Vacuum Insulation Panels (VIPs) are next-generation insulation materials used to reduce heat loss, characterized by significantly lower conductivity compared to traditional insulation materials. The thermal conductivity of Vacuum Insulation Panels (VIPs) typically ranges between $3-7 \text{ mWm}^{-1}\text{K}^{-1}$, and their thickness can be 5-10 times thinner compared to traditional insulation materials. The core material of the VIPs is vacuumed inside an impermeable barrier. After vacuuming, the atmospheric pressure applied to the panel is approximately 10 tons/m². Therefore, the physical and mechanical properties of the core material are crucial in terms of dimensional stability. Core materials that lack sufficient mechanical properties collapse after vacuuming; thus, it is not possible to achieve a rigid panel. This study aimed to determine the mechanical and physical properties of cores produced by mixing fumed silica (FS) with alternative powders. Five specific surface areas (SSA) nano and micro-sized powders were utilized in core production to achieve this purpose. Additionally, glass fiber was added to the mixture at 5%, 10%,

* İlgili yazar / Corresponding author: aliakdag@isparta.edu.tr, +90- 246-214-6926

and 15% ratios. After determining the mixture ratios, 45 core panels with varying physical and mechanical properties were produced by applying compression forces in the 20-50 kN range. The physical and mechanical properties of the cores were tested according to DIN EN 1602, DIN EN 826, and DIN EN 1607 standards. Upon evaluating the obtained findings, it was determined that adding $\leq 10\%$ fiber in core design and using powders with high specific surface area (SSA) increased core dimensional stability and elastic modulus. Consequently, according to DIN EN standards, the CP-1-4 core exhibited the most suitable mechanical properties.

Alıntı / Cite

Akdağ, A.E., Davraz, M., Delikanlı, K., (2023). Nano ve Mikro Toz Malzemelerle Üretilen Yüksek Isı Yalıtım Performanslı Vakum Yalıtım Paneli Çekirdeklerinin Fiziksel ve Mekanik Özellikleri, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(4), 1424-1438.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

A. E. Akdağ, 0000-0002-3699-9376

M. Davraz, 0000-0002-6069-7802

K. Delikanlı, 0000-0001-5074-7872

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date 21.01.2023

Revizyon Tarihi / Revision Date 11.08.2023

Kabul Tarihi / Accepted Date 18.09.2023

Yayın Tarihi / Published Date 30.12.2023

PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF VACUUM INSULATION PANEL CORES WITH HIGH THERMAL INSULATION PERFORMANCE PRODUCED WITH NANO AND MICRO POWDER MATERIALS

Ali Emre Akdağ^{1†}, Metin Davraz², Kamil Delikanlı³

¹ Isparta University of Applied Sciences, Vocational School of Technical Sciences, Department of Medical Services and Techniques, Isparta, Türkiye

² Isparta University of Applied Sciences, Faculty of Technology, Department of Civil Engineering, Isparta, Türkiye

³ Süleyman Demirel University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Isparta, Türkiye

Highlights

- A comprehensive investigation of the mechanical and physical properties of vacuum insulation panel cores produced with a mixture of fumed silica and alternative powders.
- Testing the physical and mechanical properties of VYP cores according to DIN EN 1602, DIN EN 826, and DIN EN 1607 standards.
- The usability of cryogenic perlite as an alternative core powder material in vacuum insulation panels.

Purpose and Scope

The physical and mechanical properties of vacuum insulation panel cores are very important for dimensional stability. Cores that lack sufficient mechanical properties tend to collapse after vacuum, resulting in the formation of a non-rigid panel. This study aims to determine the mechanical and physical properties of core panels produced with a mixture of fumed silica and alternative powders.

Design/methodology/approach

In the production of vacuum insulation panel cores, five different types of nano and micro structured powders with different specific surface areas and open-cell porous structures were used. A total of 45 core panels were manufactured. To ensure sufficient mechanical properties of VYP cores, fibers were added to the core material composition in specific proportions. The core powder mixtures were compressed under different compression forces depending on the type of mixture, and transformed into panel form. The physical and mechanical properties of the cores were tested according to the relevant standards.

Findings

The inclusion of fibers in the mix design of core panels is important in ensuring dimensional stability. The inclusion of fibers in excess of 10% in the core panel composition generally results in lower values for compressive strength and modulus of elasticity. In addition, the addition of more than 15% fiber causes swelling and deformation of the core material. The use of powders with a high specific surface area combined with less than 10% fiber content in the core panel composition increases the dimensional stability of the panels.

[†] Corresponding author: aliakdag@isparta.edu.tr, +90- 246-214-6926

Practical implications

The mechanical properties of core panels produced with a mixture of cryogenic perlite and fumed silica powders are relatively low; however, these panels maintain their dimensional stability without collapsing under vacuum conditions. This finding suggests that cryogenic perlite can be used as an alternative core powder material for vacuum insulation panels. Depending on the utilization rate, incorporating cryogenic perlite into VIPs can reduce the material cost by approximately 20-40%. Thus, VIPs can be produced more cost-effectively and find wider applications.

Originality

There is limited research available on the mechanical properties of vacuum insulation panels. In this study, the mechanical performance of core panels produced with different specific surface area powders was determined. Additionally, the utilization of cryogenic perlite as an alternative core material for VIPs was proposed, emphasizing its cost-effectiveness.

1. Giriş (Introduction)

Günümüzde enerji kaynaklarının giderek azalması ve enerji talebinin giderek artması nedeniyle kaynakları daha verimli kullanmak enerji tasarrufu için çok önemlidir. Binalardan sağlanacak enerji tasarrufu azımsanamayacak ölçüdedir. Binalardaki enerji kullanımını azaltmak için yalıtım malzemelerinin uygulanması kaçınılmazdır. Binaların enerji verimliliği büyük ölçüde yalıtım malzemelerinin performansına bağlıdır. Sürekli sıkılaştırılan yönetmeliklerde şartları yerine getirmek için binalarda daha kalın yalıtımlar kullanılmalıdır (Örneğin, Macaristan'da 20–25 cm'ye kadar, İskandinav ülkelerinde yaklaşık 40–50 cm). Son yıllarda, yalıtım malzemelerini geliştirme araştırmaları malzemelerin hem kalınlığını hem de ısı iletkenliğini azaltmaya odaklanmıştır (Lakatos ve Kovács, 2021). ISO ve CEN standartlarına göre bir malzemenin ısı iletkenlik katsayısı (λ) 0.065 W/m.K değerinden küçük olan malzemeler yalıtım malzemesi olarak değerlendirilmektedir. Yalıtım malzemesinin λ değeri ne kadar küçük ise ısı geçişine karşı gösterdiği direnç o oranda daha yüksektir (Bayraktar ve Bayraktar, 2016). Binalarda etkin ısı yalıtımı sağlamak için geleneksel ısı yalıtım malzemelerinin yanı sıra, ısı iletim katsayıları daha düşük yeni nesil ısı yalıtım malzemeleri geliştirilmeye başlanmıştır. Yeni nesil ısı yalıtım malzemesi olarak VYP'ler ön plana çıkmaktadır. VYP'ler, yalıtım sistemlerinin enerji verimliliğini artıran ve enerji tüketiminde tasarruf sağlayan mükemmel ısı direnç özellikleri olan yalıtım malzemeleridir (Mukhopadhyaya vd., 2008; Fricke vd., 2008). Örneğin bazı binalarda geleneksel yalıtım malzemelerine göre 5 kat daha yüksek yalıtım değerlerine ulaşılmıştır (Fantucci vd., 2019; Schwab vd., 2015; Annex 39, 2005). VYP'nin üstün ısı performansına rağmen, VYP'lerin maliyeti inşaat sektöründe geniş çapta uygulamayı engelleyen en büyük dezavantajdır (Mukhopadhyaya vd. 2005; Simmler vd. 2005). VYP'ler açık gözenekli çekirdek malzemelerin geçirimsiz bir gaz bariyeri içerisine alınarak, gaz basıncının azaltılmasıyla oluşturulan panellerdir. VYP'ler üç ana bileşene sahiptir. İlk olarak çekirdek malzeme, gaz/hava moleküllerinin serbest akışını önleyerek ve hava iletimi yoluyla ısı transferi kabiliyetini azaltarak, mekanik mukavemet ve ısı yalıtım kapasitesi kazandırır. İkinci olarak gaz bariyeri, çekirdek malzemeye hava ve buhar geçirmemesi için muhafaza sağlar. Son olarak alıcı/kurutucu, VYP içerisinde kalan veya nüfuz eden atmosferik gazları veya su buharını absorbe etmek için çekirdek malzemeye eklenir (Mukhopadhyaya vd., 2008; Kwon vd., 2010; Davraz vd., 2014; Resalati vd., 2021). VYP'lerin ısı yalıtım özelliği ve hizmet ömrü, çekirdek malzemesine, gaz bariyeri zarfına, adsorbana, vakum teknolojisine, geometrik boyuta, sıcaklığa ve bağli neme bağlıdır (Di vd., 2014). VYP'lerin yalıtım performansını iyileştirmek için farklı çekirdek malzeme üretimi üzerine çalışmalar yapılmıştır. Çekirdek malzemesi, FS bazlı bir VYP toplam maliyetinin ≥ 40 'ını oluşturur. Mevcut FS fiyatının yaklaşık onda biri olan genişletilmiş perlitler, potansiyel çekirdek malzeme olarak kullanılabilir. Cam elyafları ve silika tozları (fumed silika, silika aerjel vb.) gibi cam bazlı malzemeler ~ 99 Silisyum dioksit (SiO_2) içerirken, perlitin ~ 85 SiO_2 'dir (kalan Na_2O , Al_2O_3 vb. metalik oksitlerdir). Kafes yapılarından dolayı fumed silika, cam elyafları, silika aerjelleri gibi amorf silika bazlı malzemeler VYP çekirdek malzemesi olarak tercih edilmektedir. Tozlar ve lifler gibi malzemelerdeki iletimle ısı transferi, komşu parçacıklar arasındaki temas noktası aracılığıyla gerçekleşir. Çekirdek üretimi sırasında, sıkıştırma kuvvetleri ya tanecikleri deforme ederek aralarındaki temas alanını artırır ya da taneciklerin yeniden paketlenip birbirine yaklaşmasına neden olur. Sonuç olarak bir tanecikten diğerine aktarılan ısı artar. Elastisite modülü (E) ve Poisson oranı (ν) gibi parçacıkların mekanik özellikleri katı iletimini etkiler (Verma ve Singh, 2022).

Zach vd. (2019), doğal veya atık polimerik liflere dayalı geleneksel olmayan çekirdek malzemeleri kullanarak vakum yalıtım malzemeleri geliştirmişlerdir. Düşük maliyetli VYP üretimi için çekirdek malzemesi olarak polye ester elyafların uygun bir malzeme olduğunu tespit etmişlerdir. Alam vd. (2014) daha ucuz VYP çekirdeği için alternatif bir kompozit çekirdek malzeme geliştirmişlerdir. Kompozitte farklı oranlarda genişletilmiş perlit (EP), fumed silika, silisyum karbür ve polye ester elyaftan oluşan 100 mm×100 mm ebadında VYP levha numuneleri hazırlamışlardır. Kütle oranı %60 EP içeren çekirdek levhanın panel merkezi ısı iletkenliği atmosfer basıncında 53 $\text{mWm}^{-1}\text{K}^{-1}$ ve EP içeriği %30'a düşürüldüğünde 28 $\text{mWm}^{-1}\text{K}^{-1}$ olarak ölçülmüşlerdir. Silisyum karbür (SiC) ve polye ester liflerle birlikte %30 EP ve %50 FS içeren çekirdek levhaların 0.5 Pa'da 7.6 $\text{mWm}^{-1}\text{K}^{-1}$ 'lik bir panel

merkezi ısı iletkenliği elde etmişlerdir. VYP çekirdeğinde EP kullanılarak çekirdek maliyetini %20 düşürülebileceğini hesaplamışlardır. Mao vd. (2020), VYP'lerin performansını değerlendirmek için mikro fiber çekirdek malzemesinin ısı iletkenliği, gazların ısı iletkenliği ve termal radyasyon üzerine çalışma yapmışlardır. Mikro fiber çekirdek malzemenin düşük ortalama çapı ve düşük iç basınç ile ısı iletkenlik azaltmıştır. Mikro gözenekli ortamda, iç basıncın 0.01 Pa'dan 10 Pa'a artmasıyla ısı iletkenlik 2.61 $\text{mWm}^{-1}\text{K}^{-1}$ 'den 24.26 $\text{mWm}^{-1}\text{K}^{-1}$ 'e belirgin bir şekilde yükselmiştir. Bu nedenle, VYP'lerin ısı iletkenliği için daha düşük kritik basınç hayati önem taşımaktadır. Düşük ısı iletkenliği korumak için mikro fiber malzemenin basıncı 10 Pa'nın altına düşürülmelidir. Zhuang vd. (2017), çalışmalarında FS içeren VYP'lerin çekirdeği için alternatif, daha düşük maliyetli "genleştirilmiş mantar (EC)/(FS)" kompozit malzeme geliştirmişlerdir. Sonuç olarak oluşan gözenekli mikro yapı sayesinde hibrit malzemeler, VYP'lerin çekirdek malzemesi olarak iyi bir ısı yalıtım performansı göstermiştir. Genleştirilmiş mantar içeren çekirdek levhanın panel merkezi ısı iletkenliği atmosfer basıncında 45.5 $\text{mWm}^{-1}\text{K}^{-1}$ ve FS içeriği %50'ye çıkarıldığında 28.7 $\text{mWm}^{-1}\text{K}^{-1}$ olarak ölçülmüştür. %50EC-%50FS ısı iletkenliği 1 mbar'da 6.3 $\text{mWm}^{-2}\text{K}^{-1}$ olarak ölçülmüştür. Dong vd. (2022), bambu elyafından (BF) ve takviye olarak cam elyafından (GF) yapılan verimli ve uygun maliyetli çok katlı kompozit çekirdek malzeme üretmişlerdir. Hem bambu hem de cam elyafı çekirdek malzemede eşit şekilde dağılarak üç boyutlu (3D) bir ağ yapısı elde etmişlerdir. Cam elyafın dâhil edilmesi, çekirdek malzemenin yapısını önemli ölçüde değiştirmiştir. Tamamen bambu elyafından yapılan VYP, 12.62 $\text{mWm}^{-1}\text{K}^{-1}$ lik nispeten yüksek ısı iletkenliğe sahiptir. Kompozit çekirdek malzemesi ile üretilen VYP ısı iletkenliği 4.81 $\text{mWm}^{-2}\text{K}^{-1}$ 'e düşürülebileceğini söylemişlerdir. Liv vd. (2016) çalışmalarında, VYP çekirdeği olarak çeşitli elyaf/toz hibrit çekirdek malzemeleri (HCM'ler) üretmişlerdir. FS, içi boş mikro cam küre (HGM), kıyılmış polyester lifleri, titanyum dioksit ve karbon siyahı tozlarının karışımlarından yeni HCM'leri kuru toz karıştırma yöntemiyle üretmişlerdir. FS matrisine HGM'ler eklenerek VYP'lerin hem sıkıştırma hem de kabarma oranını büyük ölçüde azaltmışlardır. Sonuç olarak, VYP'lerin toplam ısı iletkenliğinin HGM eklenmesiyle arttığını ancak HGM içeriği kütlece %26'dan az olduğunda 7.2 $\text{mWm}^{-1}\text{K}^{-1}$ 'den düşük bir değerde belirlemişlerdir. Soğutmada VYP'ler için kütlece %6 HGM'li HCM'ler tavsiye edilirken, inşaat sektörlerindeki VYP'ler için kütlece %26 HGM'li HCM'leri önermişlerdir. Davraz vd. (2019) 2 adet opaklaştırıcısız çekirdek malzemeyi 4 farklı fiber oranında ve 3 farklı sıkıştırma kuvveti uygulayarak üretmişlerdir. Üretilen çekirdek numunelerinin elastisite modülü, çekme gerilmesi, basma dayanımı gibi mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Ayrıca çekirdek numunelerin porozite ve birim hacim kütle (BHK) gibi fiziksel özelliklerini de belirlemişlerdir. Çekirdek içerisinde fiber içeriğinin artırılması genel olarak %10 deformasyonda basma dayanımını azaltmış ve çekme gerilmeleri açısından en uygun fiber oranını %15 olarak tespit etmişlerdir. Kan vd. (2023), çalışmalarında geri dönüştürülmüş ve ekonomik pamuk lifi çekirdekli yeni bir VIP türü hazırlamışlardır. Ayrıca VIP'lerin bariyer ve ısı iletkenliğini deneysel ve matematiksel olarak incelemişlerdir. VIP'lerin adyabatik özelliklerini araştırmak için üç tip lamine film (AF, MF-I, MF-II) hazırlamışlardır. Sonuç olarak, VIP'ler için bariyer katmanlı AF'nin ısı iletkenliği MF-I, MF-II'den daha iyi performans göstermiştir. AF bariyer zarfları kullanılarak hazırlanan VIP'lerin etkin ısı iletkenliği yaklaşık 3.17 $\text{mWm}^{-1}\text{K}^{-1}$ olarak ölçülmüş ve pamuk lifi çekirdek malzemeli VIP'lerin iyi bir ısı özelliğe sahip olduğunu belirtmişlerdir. Zhao vd. (2022), odun hamuru lifi ve cam elyafının temel özelliklerini incelemiş ve cam elyafı kompozit çekirdek malzemelerin yapısal özelliklerini ve ısı yalıtım performansı üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Sonuçta, cam elyaf içeriğinin artırılması ve çekirdek malzemelerdeki yapısal değişiklikler nedeniyle VIP'lerin ısı iletkenliğinin kademeli olarak azaldığını belirlemişlerdir. %100 odun hamuru lifi ve odun hamuru/cam lifi kompozitleri (ağırlıkça %50) içeren VIP'ler için sırasıyla 6.48 ve 4.69 $\text{mW/m}^{-1}\text{K}^{-1}$ ısı iletkenliği değerlerini elde etmişlerdir. Ayrıca, 365 günlük depolamadan sonra, %50 cam elyaf içeren kompozit çekirdek malzeme, herhangi bir alıcı veya kurutucu olmadan 7.42 $\text{mW/m}^{-1}\text{K}^{-1}$ ısı iletkenliği değerini korumuştur. Aldykiewicz vd. (2022), çalışmalarında, farklı ortam koşullarına maruz kalan polimer (etilen vinil alkol) ve metalize (alüminize) bariyer filmlere sahip fumed silika çekirdeklerden oluşan VYP'lerin uzun vadeli davranışlarını araştırmışlardır. Isı iletkenlikteki artışın, polimer bariyer filmler kullanılarak yapılan VYP'i, metalize bir filmle korunan aynı VYP'e kıyasla daha belirgin olduğunu göstermektedir. Artış, %80 gibi yüksek bağıl neme maruz kaldığında daha belirgindir. Yaklaşık iki yıl maruz kaldıktan sonra, metalize bariyer filmlerle korunan VYP'leri için ısı iletkenliğindeki düşüş, maruz kalma koşuluna bağlı olarak yüzde 4 ila 11 arasındadır. En küçük düşüş ortam koşullarında, en büyük düşüş ise %80 bağıl neme maruz kalma durumunda gerçekleşmiştir. Benzer davranış polimer filmler kullanılarak korunan paneller için de gözlemlenmiştir, ancak ısı iletkenlikteki düşüş metalize filmlerle korunan panellerle aynı sırada, yaklaşık %20 ila %60 arasında, önemli ölçüde daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Verma vd. (2023), perlit çekirdekli VIP'ler ve fumed silika içeren VIP'ler üzerinde opaklaştırıcıların etkisini incelemişlerdir. Ayrıca, bu opaklaştırıcıların VIP'lerin sıcaklığa bağlı ısı iletkenliği üzerindeki etkisini de araştırmışlardır. Perlitteki opaklaştırıcıların, ≥ 70 °C'ye maruz kalan yalıtım için genel ısı iletkenliğini azalttığını ancak ≤ 20 °C için bunun geçerli olmadığını göstermişlerdir. Düşük yoğunluklu genişletilmiş perlit ve 3 farklı oranda 4 opaklaştırıcı, (karbon siyahı, grafit, SiC I, SiC II) kullanarak çeşitli VIP'ler üretmişlerdir. Bu VIP'ler çeşitli sızdırmazlık basıncında ve 10 °C, 20 °C, 40 °C ve 70 °C olmak üzere dört farklı ortalama sıcaklıkta test edilmiştir. Opaklaştırıcı olarak farklı oranlarda karbon siyahı içeren fumed silika çekirdekli VIP'ler ile karşılaştırılmıştır. Bu araştırmada test edilen opaklaştırıcılar arasında, ortalama partikül boyutu 20 μm olan SiC I'in en iyi opaklaştırıcı olduğunu ve kompozitlerinden birinin perlit çekirdekli VIP'lere kıyasla 70 °C'de %50 daha düşük ısı iletkenliğine sahip olduğunu belirtmişlerdir. Latsuzbaya vd. (2022), ticari uçaklardaki kabin içindeki

yolcuları termal ve akustik yüklerden korumak için geleneksel yalıtım yöntemlerine alternatif olarak, VIP'leri, geleneksel yalıtımlı iç panellere entegrasyonu üzerine çalışmışlardır. Daha sonra, yeni yapıların ısıl özelliklerini belirlemişlerdir. Yapılan testlerde yeni panellerin ısı iletkenliğinin geleneksel çözümlere kıyasla 3-6 kat daha düşük olduğu görülmüştür. Ayrıca, VIP içindeki vakumun korunması üzerine de deneyler yapılmıştır. Yapılan deneyler, yüksek bariyerli filmlerin yüksek sıcaklık ve basınç koşullarına dayanabileceğini ve test numunelerinin ısı iletkenliğinin 1 yıl sonra bile kötüleşmediğini ortaya koymuşlardır. Katsura vd. (2023), VIP'lerin hizmet ömrünü artırmak için çift zarf uygulamasının etkisini araştırmışlardır. Gaz bariyeri zarflarının deneysel olarak gaz geçirgenlikleri tahmin edilmiştir. Ayrıca, çift zarflı VIP'lerdeki basınç yaşlanması hesaplanmıştır. 25 yıl sonra iç basınç değeri alüminyum kompozit film zarf için 1.6 Pa ve şeffaf gaz bariyeri film zarf için 59.3 Pa olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlar, uzun vadeli yalıtım performansının geliştirilebileceğini göstermiştir. Yazarlar daha sonra çift zarflı VIP'lerin 80°C'de bir odaya yerleştirildiği ve ayda bir kez çıkarılarak ısı iletkenliklerinin ölçüldüğü hızlandırma testini gerçekleştirmişlerdir. 136 hafta sonra bile, bir örnek ısıl dirençte yalnızca %9.1'lik bir düşüş gözlenmiştir. İçinde alıcı madde ve dışında kurutucu madde bulunan çift zarflı VIP'lerin uzun vadeli yalıtım performansını büyük ölçüde iyileştirebilmektedir.

Bu çalışmada, FS ile üretilen VYP çekirdeklerinin ve ekonomik açıdan alternatif olabilecek farklı tozların karışımı ile üretilen çekirdeklerin mekanik özellikleri belirlenmiştir. Üretilen tüm panellerin BHK'si, basma dayanımı ve çekme gerilmesi testleri sırasıyla DIN EN 1602, DIN EN 826, DIN EN 1607 standartlarına göre belirlenmiştir. VYP'lerin yeterli mekanik özellikleri sağlaması için çekirdek malzeme tasarımına belirli oranlarda fiber eklenmiş ve optimum fiber oranı ile optimum SiC oranı belirlenmiştir.

2. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

2.1. VYP Çekirdek Panelinde Kullanılan Malzemeler (Materials Used in VIP Core Panel)

Çalışmada VYP çekirdeği üretiminde açık hücreli ve gözenekli yapıdaki farklı ÖYA'na sahip beş farklı tipte nano ve mikro yapıda tozlar kullanılmıştır. Toplamda 5 grup (CP-1, CP-2, CP-3, CP-4, CP-5) içeren 45 çekirdek panel üretilmiştir. CP-1 çekirdek tasarımında FS (EH5), CP-2 tasarımında FS (H5) ve CP-3 tasarımında FS(M5) içeren tozlar kullanılmıştır. CP-4 ve CP-5 çekirdek panel tasarımında da sırasıyla çökeltmiş silika (PS) ve kriyojenik perlit (KPL) eşit oranda FS (M5) tozu ile karıştırılarak üretilmiştir. VYP çekirdeklerinin yeterli mekanik özellikleri sağlaması için çekirdek malzeme bileşimine belirli oranlarda fiber eklenmiştir. Ayrıca ışınlama ısı transferinin azaltılması için bazı çekirdeklerin bileşimine farklı oranlarda SiC de ilave edilmiştir. Çekirdek toz karışımları karışım türüne bağlı olarak farklı sıkıştırma kuvvetleri (F) ile sıkıştırılarak Şekil 1'de gösterildiği gibi panel haline getirilmiştir.



Şekil 1. VYP Çekirdek paneli (VIP Core panel)

Panel haline getirilen çekirdekler birim kütlesi $\sim 35 \text{ g/m}^2$ olan tela malzemesi ile kaplanmıştır. Tela ile kaplanan çekirdekler sızdırmaz metalize bir bariyer içerisinde yüksek vakum altında ($<1 \text{ Pa}$) vakumlanmıştır. Bariyer malzemesi, 7 katmanlı (PET-AL-PE) metalize film den oluşmaktadır ve $90 \mu\text{m}$ kalınlığındadır. Bariyer malzeme aynı zamanda geçirimsiz özelliktedir. Bariyer vakumu muhafaza eden ve çekirdek malzemenin atmosferik gazlara ve neme karşı korunmasını sağlayan en önemli kısımdır.

2.2. VYP Üretiminde Kullanılan Cihaz ve Ekipmanlar (Devices and Equipment Used in VIP Production)

Çekirdek toz karışımlarının homojen olabilmesi için özel olarak tasarlanmış 50 lt'lik hacme sahip 6000 dev/dk hızına ulaşabilen mikser kullanılmıştır. Homojen toz karışımları 18 dm^3 malzeme kapasitesine sahip pres makinesinde farklı sıkıştırma kuvvetleri uygulanarak panel haline getirilmiştir. Uygulanan kuvvetin hassasiyeti 10N'dur. Çekirdek panel kalınlığı hassasiyeti ise $\pm 1 \text{ mm}$ 'dir. Pres ünitesinde panel haline getirilen çekirdekler $250 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklığa kadar ulaşabilen 500 lt kapasiteli hava dolaşımli etüvde değişmez ağırlığa kadar kurutulmuştur. Kurutulan çekirdek paneller tela malzemesiyle kaplanmıştır. Tela ile kaplanan çekirdek paneller geçirimsiz bariyer içerisinde $<0,1 \text{ Pa}$ seviyesinde vakumlanarak ağız kısmı atmosfere kapatılmıştır. Vakumlama prosesinde iki adet vakum pompası kullanılmıştır. Birinci kademedede $6 \times 10^{-2} \text{ Pa}$ emiş gücünde $30 \text{ m}^3/\text{h}$ kapasitesinde rotary pompa, ikinci kademedede turbo moleküler pompa bulunmaktadır. Çekirdek panel üretiminde kullanılan cihazlar

Şekil 2’de gösterilmiştir. Vakumlama sürecinde vakum haznesinin sızdırmaz olması, yapıştırma sıcaklığı ve süresi gibi parametreler oldukça önemlidir.



Şekil 2. VYP çekirdek panel üretiminde kullanılan turbo mikser, pres, etüv ve vakum sistemi (Turbo mixer, press, oven and vacuum system used in VIP core panel production)

Toz dolgu maddelerinin ÖYA ölçümleri Micromeritics Gemini V2.01 cihazı ile BET yöntemine göre belirlenmiştir. Çekirdeklerin, gerçek özkütle değerleri Micromeritics Accu Pyc II 1340 piknometresi ile 3 kez ölçülerek ortalamaları hesaplanmıştır. Çekirdek panellerin kütleleri 1/1000g hassasiyetine sahip elektronik terazi ile belirlenmiştir.

2.3. VYP Üretiminde Geçerli Standart ve Normlar (Standards and Norms in VIP Production)

VYP üretimi için gereken fiziksel ve mekanik özellikler ile ilgili geçerli standart ve normlar Haziran 2010’ dan itibaren geçerli olmak üzere Alman Bina Teknolojisi Enstitüsü ve Avrupa Birliği Teknik Komitesi tarafından onaylanmıştır. Geçerli standart ve normlar Tablo 1’de gösterilmiştir.

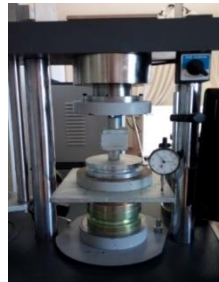
Tablo 1. VYP’ lerinin sağlaması gereken mekanik ve fiziksel özellikleri (Mechanical and physical properties desired in VIPs) (Bayrakçı vd., 2011; Davraz vd., 2013)

Değerlendirme Kriteri	Sınır Değer	Standart	Açıklama
Basma dayanımı ($\sigma_{%10}$) (kPa)	≥ 150	(DIN EN 826)	%10 Sıkışmada
Çekme gerilmesi, σ_t (kPa)	40	(DIN EN 1607)	Panelin boyu yönünde
Birim Hacim Kütle (kg/m^3)	≤ 210	(DIN EN 1602)	-
Deformasyon (kalınlık)	%2	(DIN EN 1605)	40 kPa ve 70 °C

VYP’lerinde basma dayanımı DIN EN 826 standardına göre belirlenir. Çekirdek paneller DIN EN 826’ya göre 23 ± 2 °C ve 50 ± 5 bağıl nem koşullarında bekletilmiştir. Çekirdek panellere test presinde 250 ± 10 Pa’lık ön yükleme uygulanmıştır. Sonrasında 0.1mm hassasiyetle çekirdek paneller sıkıştırılmıştır. %10 sıkıştırma değerinde test sonlandırılmıştır. Ortalama basma dayanımı ≥ 150 kPa değerini sağlayan çekirdek panel grupları standartta belirtilen basma dayanımı kriterini (BDK) sağlamıştır. Test bulgularına göre bir çekirdek panel için kuvvet (F) ve yer değiştirme (X) eğrileri çizilmiştir. Basma dayanımları Eşitlik 1 yardımıyla hesaplanmıştır. Standartta uygun olarak düzenlenmiş test cihazı Şekil 3’de gösterilmiştir.

$$\sigma_m = 10^3 \frac{F_m}{A_0} \quad (1)$$

F_m : Maksimum kuvvet (N),
 A_0 : Kesit alanı (mm^2).



Şekil 3. Basma dayanımı test presi (Compressive strength test press)

VYP’lerinin BHK kütlelerini belirlemek için DIN EN 1602 standardı kullanılmaktadır. Standartta göre, çekirdek paneller etüvde değişmez kütleye kadar kurutulmuş ve boyutları elektronik kumpas ile ölçülmüştür. Hassas olarak

ölçülen panellerin hacimleri hesaplanmıştır. Daha sonra çekirdek panellerin kütleleri elektronik terazide tartılarak BHK'leri Eşitlik 2'den hesaplanmıştır.

$$D = W_N / V_N \quad (2)$$

W_N : Panel kütlesi, g

V_N : Panel hacmi, cm^3

D: Panel birim hacim kütlesi, g/cm^3 , kg/m^3 'dür.

VYP'lerinde deformasyon oranı (ε_m) yüzde olarak Eşitlik 3 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\varepsilon_m = \frac{X_m}{h_0} 100 \quad (3)$$

X_m : Şekil değiştirme (mm),

h_0 : Başlangıçtaki panel kalınlığı (mm).

VYP'de çekme gerilmesi testleri DIN EN 1607 standardına göre belirlenir. Çekme gerilmesi için 45 çekirdek panelden $h*50*50\text{mm}$ boyutlarında 5'er numune hazırlanmıştır. Her bir çekirdek panelin çekme gerilmesi için bu 5 numunenin çekme gerilmesi sonucunun ortalaması alınmıştır. Burada h çekirdek panelin kalınlığıdır. Çekirdek panellere 10 N/s hızında çekme kuvveti uygulanmıştır. Maksimum çekme kuvveti yüzey alanına bölünerek çekme gerilmeleri hesaplanmıştır. Çekme test cihazı ve çekirdek numunelerinin cihazına bağlanması Şekil 4'de gösterilmiştir.

Standartta belirtilen çekme gerilmesi >40 kPa şartını sağlayan numuneler çekme gerilmesi kriterini (ÇGK) sağlamıştır. Çekme gerilmeleri kPa cinsinden Eşitlik 4 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\sigma_m = 10^3 \frac{F_m}{A} = 10^3 \frac{F_m}{lxb} \quad (4)$$

F_m : Maksimum çekme kuvveti (N),

A: Panelin kesit alanı (mm^2),

l, b: Panelin uzunluğu ve genişliğidir (mm).



Şekil 4. Çekme test cihazı (Tensile test device)

Elastisite modülü (E), malzemeye ait karakteristik bir özelliktir. Malzemenin dayanımının (mukavemetinin) ölçüsüdür. Birim uzama ile normal gerilme (çekme gerilmesi ya da basma dayanımı) arasındaki doğrusal ilişkinin bir sonucu olup birim uzama başına gerilme olarak tanımlanır ve Eşitlik 5'den hesaplanmıştır.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_b} \quad (5)$$

σ : Normal gerilme,

ε_b : Birim şekil değişimi.

Birim şekil değiştirme (ε_b), malzemeye kuvvet uygulandığında oluşan boy değişiminin, ilk boya oranıdır ve Eşitlik 6'dan hesaplanmıştır.

$$\varepsilon_b = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (6)$$

ΔL : Uzama miktarı,

L_0 : Başlangıç uzunluğu.

Çalışmada VYP çekirdeği üretiminde açık hücreli ve gözenekli yapıdaki farklı ÖYA'na sahip beş farklı tipte nano ve mikro yapıda tozlar kullanılmıştır. Toplamda 45 çekirdek panel üretilmiştir. Çekirdek paneller ÖYA'na göre CP-

1'den CP-5'e kadar gruplandırılmış ve her grupta 9 farklı çekirdek panel üretilmiştir. Çekirdek panel üretimi için kullanılan tozlar, karışım oranları ve tozların ~ÖYA'ları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Çekirdek karışımı toz türleri, oranları ve ÖYA'ları (Powder types, ratios and SSA's used in the core mix)

No	TOZ	Oran	~ ÖYA
1	EH5	%100	~380
2	H5	%100	~320
3	M5	%100	~220
4	PS	-	~200
5	KPL	-	<10
6	PS+M5	%50+%50	<200
7	KPL+M5	%50+%50	<150

*EH5, H5, M5: Fumed silika tozları,
PS: Çökeltilmiş silica,
KPL: Kriyojenik perlit,
PS+M5: Çökeltilmiş silika ve fumed silika toz karışımı,
KPL+M5: Kriyojenik perlit ve fumed silika toz karışımı.*

Çekirdek panellerin karışıma giren bileşenlerinin oranları Tablo 3'de verilmiştir. Çekirdek panellerin sabit kalınlıkta (~ 25mm) ve belirli bir boyutsal kararlılıkta olması için karışım türüne bağlı olarak Tablo 3'de belirtilen sıkıştırma kuvvetleri uygulanmıştır.

Tablo 3. Farklı ÖYA'na sahip toz malzeme içeren çekirdek panellerin % bileşim oranları, sıkıştırma kuvvetleri ve panel kalınlıkları (% composition ratios, compression forces and thicknesses of core panels containing powder material with different SSAs)

CP-1 (ÖYA: 392)						CP-2 (ÖYA: 322)						CP-3 (ÖYA: 226)					
No	EH5	SiC	FBR	F	h	No	H5	SiC	FBR	F	h	No	M5	SiC	FBR	F	h
CP-1-1	95	0	5	50	28.12	CP-2-1	95	0	5	50	26.06	CP-3-1	95	0	5	50	26.01
CP-1-2	85	10	5	35	26.38	CP-2-2	85	10	5	35	27.05	CP-3-2	85	10	5	35	25.99
CP-1-3	75	20	5	28	25.00	CP-2-3	75	20	5	28	25.00	CP-3-3	75	20	5	28	25.67
CP-1-4	90	0	10	46	25.00	CP-2-4	90	0	10	46	25.00	CP-3-4	90	0	10	46	25.88
CP-1-5	80	10	10	35	25.00	CP-2-5	80	10	10	35	25.37	CP-3-5	80	10	10	35	25.01
CP-1-6	70	20	10	25	24.09	CP-2-6	70	20	10	20	27.20	CP-3-6	70	20	10	25	24.95
CP-1-7	85	0	15	40	25.72	CP-2-7	85	0	15	40	25.75	CP-3-7	85	0	15	40	25.50
CP-1-8	75	10	15	30	25.35	CP-2-8	75	10	15	30	25.40	CP-3-8	75	10	15	30	25.00
CP-1-9	65	20	15	20	25.25	CP-2-9	65	20	15	20	25.95	CP-3-9	65	20	15	20	24.87

CP-4 (ÖYA: 196)						CP-5 (ÖYA: 148)					
No	PS+M5	SiC	FBR	F	h	No	KPL+M5	SiC	FBR	F	h
CP-4-1	95	0	5	30	23.53	CP-5-1	95	0	5	30	24.67
CP-4-2	85	10	5	20	22.32	CP-5-2	85	10	5	20	22.15
CP-4-3	75	20	5	15	21.62	CP-5-3	75	20	5	15	20.92
CP-4-4	90	0	10	20	22.18	CP-5-4	90	0	10	20	20.03
CP-4-5	80	10	10	18	21.20	CP-5-5	80	10	10	18	21.22
CP-4-6	70	20	10	18	19.95	CP-5-6	70	20	10	18	18.30
CP-4-7	85	0	15	20	22.95	CP-5-7	85	0	15	20	20.87
CP-4-8	75	10	15	18	20.80	CP-5-8	75	10	15	18	20.87
CP-4-9	65	20	15	18	19.53	CP-5-9	65	20	15	18	20.87

*EH5, H5, M5: Fumed silika tozları, (%)
PS: Çökeltilmiş silika
KPL: Kriyojenik perlit, (%)
SiC: Opaklaştırıcı madde, (%)
FBR: Cam elyafı (fiber), (%)
F: Sıkıştırma kuvveti (kN)
h: Panel kalınlıkları (mm)*

3. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

3.1. Çekirdek Panellerin BHK'si ve ÖYA Değerlerinin Belirlenmesi (Determination of BHK and SSA Values of Core Panels)

Çekirdek dolgu maddelerinin BHK'si Eşitlik 2'ye göre hesaplanmıştır. ÖYA değerleri Micromeritics Gemini V2.01 cihazı ile BET yöntemine göre belirlenerek Tablo 4'de gösterilmiştir.

Tablo 4. Dolgu maddelerinin BHK'leri ve tozların ÖYA değerleri (Densities of fillers and SSA values of powders)

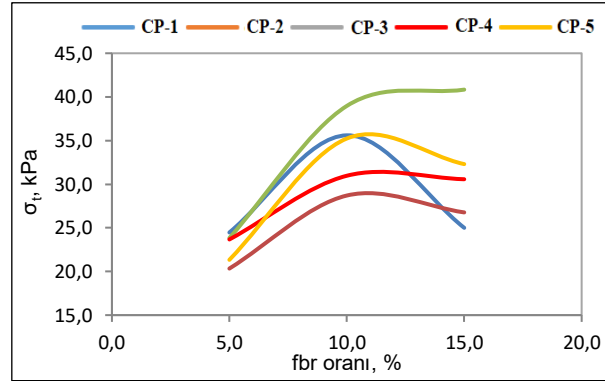
No	Toz türü	ÖYA (m ² /g) (Ölçülen)	Dolgu	D (g/cm ³) (g/cm ³)
1	EH5	391.85	EH5	2.308
2	H5	322.18	H5	2.314
3	M5	226.07	M5	2.320
4	PS	201.32	PS	2.230
5	KPL	8.01	KPL	2.520
6	PS+M5	195.85	CE	2.669
7	KPL+M5	147.89	SiC	3.263

Çekirdek toz maddeleri içerisinde EH5 FS tozunun ÖYA'nı 392 m²/g'dır. Bu değer diğer ölçülen tozların ÖYA'na göre en yüksek olanıdır. H5 FS tozunun ÖYA'sı 322 m²/g, M5 FS tozunun ÖYA değerleri ise 226 m²/g olarak belirlenmiştir. Alternatif çekirdek dolgu maddesi olarak öngörülen M5 + PS karışımının ÖYA değeri 196 m²/g'dır. Bu karışımın ÖYA'sı FS türü tozların ÖYA değerinden daha düşüktür. M5 + KPL karışımının ÖYA değeri ise 148 m²/g'dır. Bu karışımın ÖYA'sı çekirdek dolgu malzemesi olarak kullanılan tozlar içerisinde en küçük değerdedir.

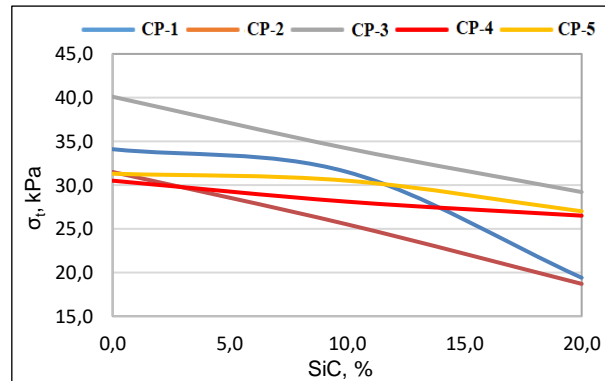
3.2. Çekirdek Panellerin Çekme Gerilmeleri (Tensile Stresses of Core Panels)

Tablo 3'de gösterilen ÖYA'na göre gruplanmış CP'ler (45 panel) farklı oranlarda fiberli ve fibersiz olarak üretilmiştir. Çekirdek panellerin içerisindeki fiber oranı değişiminin σ_t değerine etkisi Şekil 5'de gösterilmiştir. Çekirdek panellerin içeriğindeki fiber oranı %10 olduğunda panellerin σ_t değerleri artış gösterirken, fiber oranı %15 olduğunda σ_t değerleri genel olarak azalmıştır. M5 tozu ile üretilen CP-3 çekirdek panellerin σ_t değerleri %10 fiber oranına kadar artmıştır. Fiber oranı %15 olduğunda σ_t değerleri genellikle sabit kalmıştır.

Üretilen CP'lerin içerdiği % SiC oranının σ_t değerlerine etkisi Şekil 6'da gösterilmiştir. SiC içermeyen panellerin σ_t değeri SiC içerenlere göre daha yüksektir. Çekirdek panel içerisindeki SiC miktarının artırılması σ_t değerlerini azaltmıştır. DIN EN 1607'de belirtilen $\sigma_t \geq 40$ kPa şartlarını sağlayan paneller ÇGK'ni sağlamıştır.



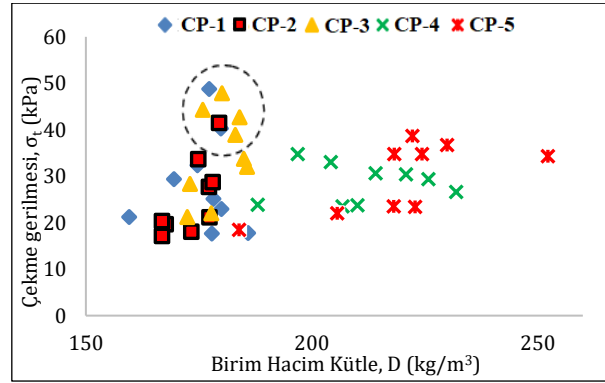
Şekil 5. % fiber oranı ile σ_t değerlerinin değişimi (Variation of σ_t values with % fiber ratio)



Şekil 6. % SiC oranı ile σ_t değerlerinin değişimi (Variation of σ_t values with % SiC ratio)

M5-PS ve M5-KPL karışımı ile üretilen çekirdek panellerin BHK'leri FS kullanılarak üretilen panellerin (EH5, H5, M5) BHK'sinden daha yüksektir. DIN EN 1602 ve DIN EN 1607'de belirtilen $D \leq 210$ ve σ_t değerini sağlayan

panellerin BHK'leri 170 kg/m³ ile 190 kg/m³ arasında belirlenmiştir. BHK ve çekme gerilmesi değerini sağlayan çekirdek paneller Şekil 7'de daire içerisinde belirtilmiştir. Çekirdek panellerin BHK'leri, sıkıştırma kuvveti, fiber ve SiC oranına bağlı olarak değişmiştir.



Şekil 7. Çekirdek panellerinin BHK değerlerine bağlı çekme gerilmesi değerleri
(Tensile strain values depending on the BHK values of core panels)

- CP-1 de EH5 tozuyla ve %10 fiber oranıyla üretilen CP-1-4 ve CP-1-5 panelleri ÇGK' ni (≥ 40 Pa) sağlamıştır. Bu panellere sırasıyla 46 kN ve 35 kN kuvvet uygulanmıştır. σ_t değerleri 48.8 ve 40.2 kPa, BHK'leri 177-180 kg/m³ olarak belirlenmiştir. CP-1'de tüm çekirdek paneller $D \leq 210$ kg/m³ koşulunu sağlamıştır.
- CP-2 de H5 tozuyla ve %10 fiber oranıyla üretilen CP-2-4 paneli ÇGK' ni (≥ 40 Pa) sağlamıştır. Bu panele 46 kN kuvvet uygulanmıştır. σ_t değeri 41.3 kPa, BHK'si 179 kg/m³ olarak belirlenmiştir. CP-2'de bulunan tüm çekirdek paneller $D \leq 210$ kg/m³ koşulunu sağlamıştır.
- CP-3 de M5 tozuyla ve %10 fiber oranıyla üretilen CP-3-4, CP-3-7 ve CP-3-8 panelleri ÇGK' ni (≥ 40 Pa) sağlamıştır. Bu panellere sırasıyla 46-40-30 kN kuvvet uygulanmıştır. σ_t değeri 44.3 kPa, 47.8 ve 42.7 kPa, BHK'leri 176-180-184 kg/m³ olarak belirlenmiştir. CP-3'de bulunan tüm çekirdek paneller $D \leq 210$ kg/m³ koşulunu sağlamıştır.
- CP-4 de PS-M5 tozuyla ve %15 fiber oranıyla üretilen CP-4-7 paneli en yüksek σ_t değerini sağlamasına rağmen CP-4'deki hiçbir panel ÇGK'ni sağlayamamıştır. Bu gruptaki CP-4-7 panelinin σ_t değeri 34.7 kPa, BHK'si 197 kg/m³ olarak belirlenmiştir.
- CP-5 de KPL-M5 tozuyla ve %15 fiber oranıyla üretilen, CP-5-7 paneli en yüksek σ_t değerini sağlamasına rağmen bu gruptaki hiçbir panel de ÇGK'ni sağlayamamıştır. CP-5-7 paneline 20 kN kuvvet uygulanmıştır. σ_t değeri 38.7 kPa olarak belirlenmiştir. Bu değer ÇGK'ne oldukça yakındır. Panelin BHK'si 261 kg/m³'dür. CP-5 de panellerin BHK'leri tüm gruplar içerisinde en yüksek değerdedir ve CP-5'de bulunan hiçbir panel $D \leq 210$ kg/m³ koşulunu sağlayamamıştır.

3.3. Çekirdek Panellerin Basma Dayanımları (Compressive Strength of Core Panels)

Basma dayanımı için çekirdek paneller DIN EN 826'ya göre 50x50 mm boyutlarında üretilmiştir. Üretilen çekirdek paneller 23±2 °C'de ve %50±5 bağıl nem ortamında bekletilmiştir. Sonrasında panellere test presinde 250±10 Pa'lık ön yükleme uygulanmıştır. Daha sonra test presinin yükleme hızı 0.04 mm/d ayarlanarak, çekirdekler dakikada 0.1mm yer değiştirme olacak şekilde sıkıştırılmıştır. Tüm çekirdek panellerin yükleme kuvvetine bağlı aksel yer değiştirme miktarları ölçülerek, CP-1-1 paneli için 3 adet test sonucunun ortalaması hesaplanarak Tablo 5'de gösterilmiştir. Çekirdek panellere preste %10 sıkıştırma uygulandığında basma dayanımı testi sonlandırılmıştır. CP-1-1 çekirdek panel için kuvvet (F)-yer değiştirme (X) eğrisi çizilerek Şekil 8'de gösterilmiştir. Test bulgularından tüm numunelerin E değerleri hesaplanarak Şekil 9'da gösterilmiştir. DIN EN 826'da belirtilen $\sigma_{10} \geq 150$ kPa şartlarını sağlayan paneller BDK'ni sağlamıştır.

Tablo 5. CP-1-1 paneli için F, X değerlerinden hesaplanan parametreler
(Parameters calculated from F, X values for panel CP-1-1)

CP-1-1	CP-1-1-1	CP-1-1-2	CP-1-1-3	Ort.
A_o (mm ²)	2500	2500	2500	
F_m (N)	304	304	304	
σ_m (kPa)	122	122	122	121.6
X_m (mm)	2.90	3.27	2.81	2.99
d_o (mm)	28.12	28.12	28.12	
σ_m (%)	10.31	11.63	9.99	10.6
$d_o \cdot \%10$ (mm)	2.81	2.81	2.81	
F_{10} (kPa)	258	304	304	
σ_{10} (kPa)	103	122	122	115.5
X_e (mm)	0.61	0.38	0.51	
F_e (N)	56	78	56	
σ_e (kPa)	22	31	22	25.3
E (kPa)	1033	2309	1235	1525.5

F_m : Maksimum kuvvet,

σ_m : Maksimum gerilme,

X_m : Maksimum kuvvete karşılık gelen yer değiştirme miktarı,

ϵ_m : Maksimum strain,

F_{10} : %10 deformasyon miktarına karşılık gelen yük,

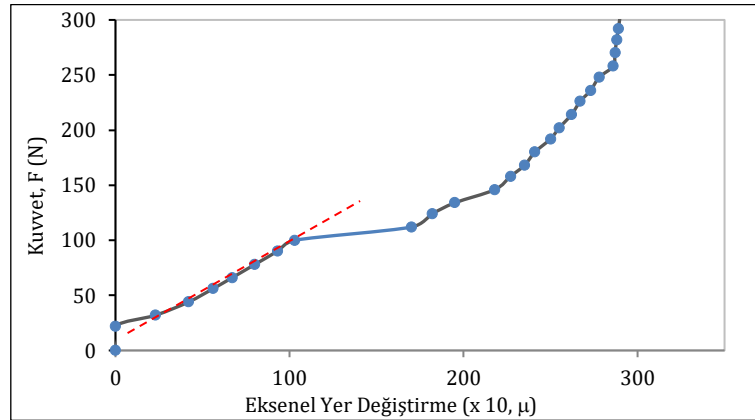
σ_{10} : %10 deformasyonda maksimum gerilme,

F_e : Elastik davranış eğrisinde başlangıçtan çizilen teğetin kestiği kuvvet,

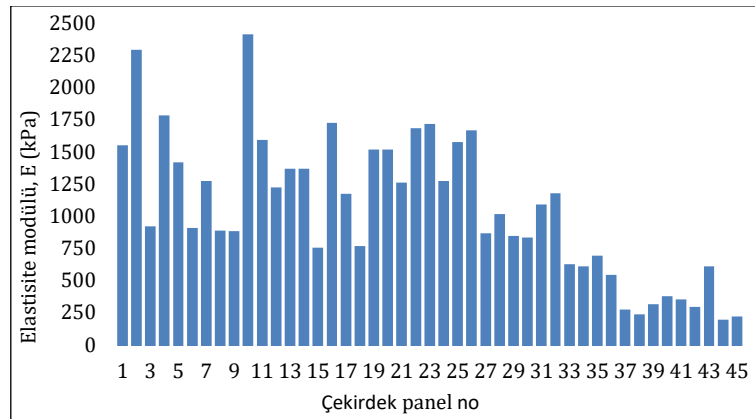
X_e : " F_e " kuvvetine karşılık gelen yer değiştirme,

σ_e : " F_e " kuvvetinden kaynaklanan gerilme,

E : Elastisite modülü.



Şekil 8. CP-1-1 numunesinin F-X grafiği (F-X plot of CP-1-1 sample)

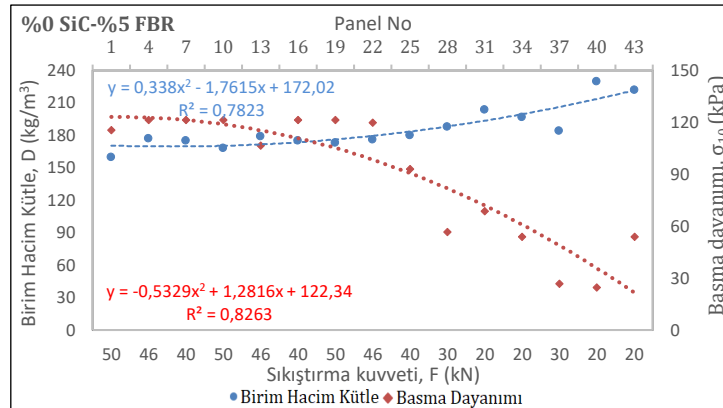


Şekil 9. Çekirdek panellerin elastisite modülleri (Elasticity modulus of core panels)

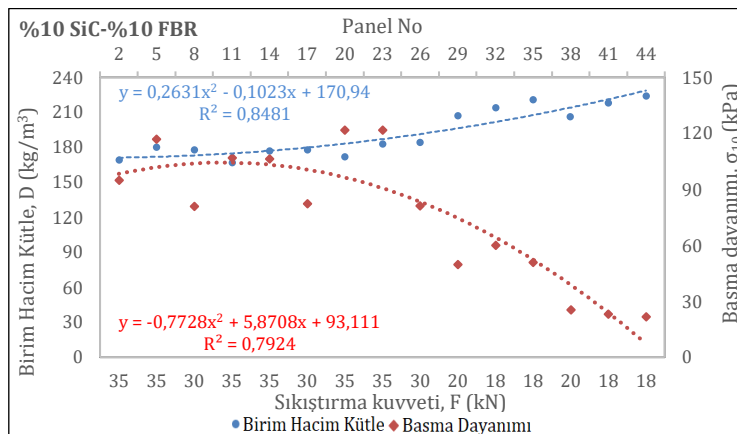
- Genel olarak, CP-1 de EH5 tozuyla üretilen çekirdek panellerin fiber oranı içeriği arttıkça σ_{10} değeri azalmıştır. Çekirdeklerin vakumlandıktan sonra atmosfer basıncında panel kararlılığı için σ_{10} değerlerinin yüksek olması gerekir. Fiber oranının artması panel kararlılığı etkilemektedir. CP-1-2 ve CP-1-4 çekirdeğinin σ_{10} değerleri sırasıyla 122 kPa ve 117 kPa'dır. Bu paneller BDK'i olan ≥ 150 kPa koşulunu sağlayamamıştır. Ancak vakum sonrası atmosfer basıncına karşı gösterdiği direnç yeterlidir. İki numunenin yer değiştirme miktarları sırasıyla

(X_m) 2.02 mm ve 3.29 mm olarak belirlenmiştir. En büyük kuvvete karşılık gelen bu yer değiştirme miktarları çekirdek panellerin atmosfer basıncında ne kadar şekil değiştirebileceğini göstermektedir. E değeri yüksek olan çekirdeklerin yer değiştirme değeri daha küçüktür. Yer değiştirme değeri küçük olan paneller atmosfer basıncına karşı daha fazla direnç gösterir. CP-1-2 ve CP-1-4 çekirdeğinin E değerleri sırasıyla 1759 kPa ve 1396 kPa olarak belirlenmiştir.

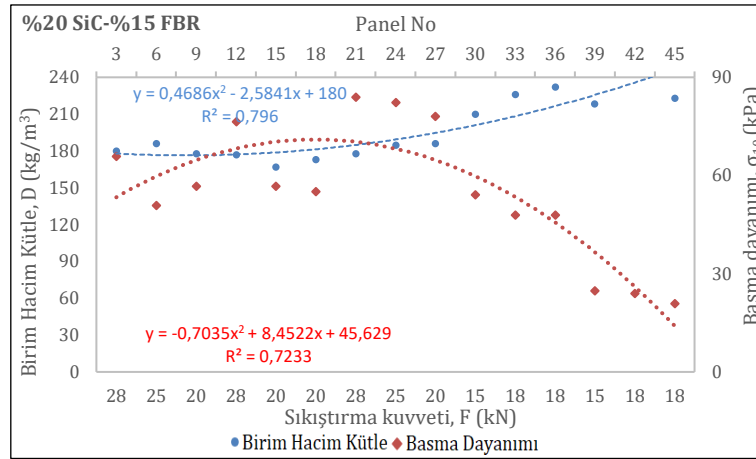
- CP-2 de H5 tozuyla üretilen çekirdek panelleri içerisinde en yüksek basma dayanımı CP-2-1 paneline aittir. Bu panelin σ_{10} değeri 122 kPa olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla bu gruptaki hiçbir panel BDK'ni olan ≥ 150 kPa koşulunu sağlayamamıştır. CP-2-1 panelinin yer değiştirme miktarı (X_m) 2.74 mm ve E değeri 1570 kPa'dır.
- CP-3 de M5 tozuyla üretilen çekirdek panelleri içerisinde en yüksek σ_{10} değerini CP-3-1, CP-3-2 ve CP-3-5 panelleri sağlamıştır. Bu panellerin σ_{10} değeri 122 kPa olarak belirlenmiştir. Bu gerilme düzeyindeki yer değiştirme miktarları (X_m) sırasıyla 2.34, 2.87 ve 2.27 mm'dir. Bu çekirdek paneller de BDK'ni sağlamasa da vakum sonrası atmosfer basıncına karşı gösterdikleri direnç yeterlidir.
- CP-4 de eşit miktarlarda PS-M5 tozu karışımıyla üretilen çekirdek panelleri içerisinde en yüksek σ_{10} değeri CP-4-5 panelidir. Bu panelin σ_{10} değeri 69 kPa'dır. Bu gerilme düzeyindeki yer değiştirme miktarı (X_m) 2.67 mm'dir. CP-4 de bulunan diğer panellerin yer değiştirme miktarları ~3mm' nin üzerinde ve E değerleri CP-1, CP-2 ve CP-3'e göre yaklaşık 3 kat azalmıştır. Bu durum, PS+M5 tozu karışımıyla üretilen çekirdek panellerin vakum sonrası önemli miktarda kalınlık değişimi olacağı anlamına gelir. CP-4'de bulunan çekirdek panellerin hiçbirisi BDK' ni sağlayamamıştır.
- CP-5 de eşit miktarlarda KPL-M5 tozu karışımıyla üretilen çekirdek panelleri içerisinde en yüksek σ_{10} değeri CP-5-7 panelidir. Bu panelin σ_{10} değeri 54 kPa'dır. Bu gerilme düzeyindeki yer değiştirme miktarı (X_m) 3,27 mm ve E değeri 585.9 kPa'dır. Bu durum CP-4 çekirdek panellerine benzerdir. KPL-M5 tozu karışımıyla üretilen çekirdek panellerin kalınlıklarında da vakum sonrası önemli bir değişim olur ve kararlı yapıda çekirdek panel üretimi zordur. Çekirdek panellerin %SiC-%Fiber oranına göre, sıkıştırma kuvvetine bağlı BHK ve basma dayanımları Şekil 10-11 ve 12'de gösterilmiştir.



Şekil 10. %0 SiC-%5 Fbr içeren çekirdek panellerin sıkıştırma kuvvetine bağlı BHK ve basma dayanımları (BHK and compressive strength of core panels containing 0% SiC-5% Fbr depending on compression force)



Şekil 11. %10 SiC-%10 Fbr içeren çekirdek panellerin sıkıştırma kuvvetine bağlı BHK ve basma dayanımları (BHK and compressive strength of core panels containing 10% SiC-10% Fbr depending on compression force)



Şekil 12. %20 SiC-%15 Fbr içeren çekirdek panellerin sıkıştırma kuvvetine bağlı BHK ve basma dayanımları (BHK and compressive strength of core panels containing 20% SiC-15% Fbr depending on compression force)

4. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Bu çalışma, FS ile üretilen VYP çekirdeklerinin ve ekonomik açıdan alternatif olabilecek farklı tozların karışımı ile üretilen VYP çekirdeklerinin mekanik performanslarının belirlenmesi üzerinedir. Vakum sonrasında çekirdek panel üzerine atmosfer tarafından ~ 10 ton/m² basınç uygulanmaktadır. Bu yüzden çekirdek panel bu basıncı karşılayabilir dayanımda olması gerekir. Yeterli mekanik özelliklere sahip olmayan çekirdek paneller vakum sonrasında deformasyona uğramaktadır. Bu nedenle, çekirdek panellerin fiziksel ve mekanik özellikleri oldukça önemlidir. Çalışmada farklı sıkıştırma kuvvetleri uygulanarak üretilen 45 çekirdek panelin BHK'leri, basma dayanımı ve çekme gerilmeleri sırasıyla DIN EN 1602, DIN EN 826, DIN EN 1607 standartlarına göre belirlenmiştir. Üretilen tüm çekirdek panellerin atmosfer basıncında herhangi bir deformasyona uğramadığı gözlenmiştir. Vakum sonrasında panellerin BHK'lerinde önemli bir değişiklik olmadığı tespit edilmiştir. Çekirdek panellerin karışım tasarımlarında fiber kullanılması, panellerin boyutsal kararlılığı açısından önemlidir. Çekirdek panel içeriğine %10 üzerinde fiber eklenmesi, genellikle panellerin basma dayanımlarında ve elastisite modülü değerlerinde azalmaya yol açmıştır. Çekirdek panellere %15 üzerinde fiber eklenmesi, çekirdekte kabarmaya ve deformasyona neden olmaktadır. Yüksek ÖYA'na sahip tozlarla <%10 oranında fiber kullanımı, panellerin boyutsal kararlılıklarını artırmıştır.

FS tozlarından elde edilen çekirdek paneller (CP-1, CP-2, CP-3), DIN EN 1602 standardındaki $D \leq 210$ kg/m³ kriterini sağlamıştır. FS(M5)-PS ve FS(M5)-KPL tozlarının karışımıyla üretilen çekirdek panellerin (CP-4 ve CP-5) BHK'leri, FS ile üretilen çekirdek panellere göre daha yüksektir. Çekirdek panellerin çekme gerilmeleri incelendiğinde, CP-1-4, CP-1-5, CP-2-4, CP-3-4, CP-3-7 ve CP-3-8 haricindeki çekirdek paneller, DIN EN 1607 standardında belirtilen ≥ 40 Pa kriterini karşılayamamıştır. Ancak CP-1, CP-2 ve CP-3'de bulunan bazı çekirdek panellerin çekme gerilmeleri, ÇGK'ne yakın değerlerdedir. Çekirdek panellerin basma dayanımları ise FS tozlarıyla üretilen çekirdek panellerde BDK'ne yakın değerler göstermektedir. FS(M5)-PS ve FS(M5)-KPL tozlarının karışımıyla üretilen çekirdek panellerin basma dayanımları daha düşük değerdedir. Ancak hiçbir çekirdek panel DIN EN 826 standardında belirtilen ≥ 150 kPa kriterini sağlayamamıştır. CP-1-4 çekirdek paneli, %90 oranında EH5-FS tozuyla (392 m²/g) ve %10 fiber ilavesiyle 46 kN kuvvetle sıkıştırılarak üretilmiştir. Bu çekirdek panel, standartlarda belirtilen kriterlere en yakın değerleri sağlamıştır. Numunenin basma dayanımı 117 kPa, çekme gerilmesi 49 kPa, deformasyonu %2.8 ve BHK'si 177 kg/m³ olarak tespit edilmiştir. VYP çekirdek panellerinin mekanik özelliklerine dair yapılan çalışmalar, literatürde sınırlı sayıdadır. Davraz vd. (2019) tarafından yapılan bir çalışmada, VYP'lerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla 12 adet VYP çekirdek paneli üretilmiştir. Çalışmalarındaki 3 numaralı numune grubu, standartlardaki üç kriteri sağlamıştır. BHK'si 200 kg/m³ olan numunenin %10 deformasyonda basma dayanımı (σ_{10}) 47.3 kPa olarak elde edilmiştir. 5 numaralı numune grubu ise standartlardaki iki kriteri sağlamış ve %10 deformasyonda basma dayanımını 132.7 kPa olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlar, çalışmada üretilen VYP çekirdeklerin mekanik özelliklerinin literatürle uyumlu olduğunu göstermektedir.

VYP'ler yüksek ısı yalıtımı sağladıkları için enerji verimliliğini artırmakta ve ısı kaybını azaltarak enerji maliyetlerini düşürmektedir. Bu nedenle inşaat, endüstriyel tesisler ve enerji sektörü gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak, FS tozu ile üretilen VYP'lerin maliyetlerinin yüksek olması inşaat sektöründe yaygın kullanımlarını sınırlamaktadır. Bu çalışmada, kriyojenik perlit ve fumed silika tozlarının karışımıyla üretilen çekirdek panellerin mekanik özelliklerinin düşük olduğu ancak vakum altında bu panellerin çökmediği ve boyutsal kararlılıklarını koruduğu tespit edilmiştir. Bu durum kriyojenik perlitin de VYP'lerde alternatif bir çekirdek toz

malzemesi olarak kullanılabilceğini göstermektedir. Kriyojenik perlitin VYP çekirdeklerinde kullanım oranına bağlı, çekirdek maliyetini %20-40 arasında azaltabilir. Bu sonuç, ülkemizin dünya perlit rezervinin yaklaşık %70'ine sahip olması açısından büyük önem taşımaktadır. Bu sayede daha ekonomik VYP'ler üretililecek ve daha geniş kullanım alanlarına sahip olabilecektir.

Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışma Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) 213M740 No'lu proje kapsamında desteklenmiştir. Yazarlar destekleri için TÜBİTAK'a teşekkür eder.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

Kaynaklar (References)

- Alam, M., Singh, H., Brunner, S., & Naziris, C. (2014). Experimental characterisation and evaluation of the thermo-physical properties of expanded perlite—Fumed silica composite for effective vacuum insulation panel (VYP) core. *Energy and Buildings*, 69, 442-450.
- Aldykiewicz Jr, A., Desjarlais, A. O., & Biswas, K. (2022). The effect of barrier films and exposure on the aging of vacuum insulation panels with fumed silica cores. Oak Ridge National Lab.(ORNL), Oak Ridge, TN (United States).
- Bayrakçı, H., Davraz, M., & Başpınar, E. (2011). Yeni Nesil Isı Yalıtım Malzemesi: Vakum Yalıtım Paneli. *Teknik Bilimler Dergisi*, 1(2), 1-12.
- Bayraktar D., Bayraktar E.A., Mevcut Binalarda Isı Yalıtım Uygulamalarının Değerlendirilmesi, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 2016, 7(1), 59-66.
- Davraz, M., Bayrakçı, H. C., Koru, M., İpek, O., Yusufoglu, Y., 2014. Ekonomik VYP Üretimi İçin Çekirdek Dolgu Maddeleri Türlerinin ve Performanslarının Araştırılması, TÜBİTAK 1003- Proje No:213M740. Development of Transparent and Opaque Vacuum Insulation Panels for Energy Efficient Buildings.
- Davraz, M., Bayrakçı, H. C., Delikanlı, K., & Akdağ, A. (2019). Vakum Yalıtım Paneli Çekirdeğinin Fiziko-Mekanik Özellikleri. *Teknik Bilimler Dergisi*, 6(1), 27-37.
- Di, X., Gao, Y., Bao, C., & Ma, S. (2014). Thermal insulation property and service life of vacuum insulation panels with glass fiber chopped strand as core materials. *Energy and Buildings*, 73, 176-183.
- DINEN 826:199605, Thermal Insulating Products for Building Applications Determination of Compression Behavior, German version EN 826:1996.
- DINEN 1602:199701, Thermal Insulating Products for Building Applications Determination of The Apparent Density, German version EN 1602:1996.
- DINEN 1605:200706, Thermal Insulating Products for Building Applications Determination of Deformation under Specified Compressive Load and Temperature Conditions, German version EN 1605:1996 + A1:2006.
- DINEN 1607:199701, Thermal Insulating Products For Building Applications Determination of Tensile Strength Perpendicular to Faces, German version EN 1607:1996.
- Dong, X., Zhang, Q., Lan, Y., Zeng, Q., Fan, M., Chen, L., & Zhao, W. (2022). Preparation and characterization of vacuum insulation panels with hybrid composite core materials of bamboo and glass fiber. *Industrial Crops and Products*, 188, 115691
- Fantucci, S., Garbaccio, S., Lorenzati, A., & Perino, M. (2019). Thermo-economic analysis of building energy retrofits using VIP-Vacuum Insulation Panels. *Energy and Buildings*, 196, 269-279.
- Fricke, J., Heinemann, U., & Ebert, H. P. (2008). Vacuum insulation panels—From research to market. *Vacuum*, 82(7), 680-690.
- H. Schwab, U. Heinemann, A. Beck, H.P. Ebert, J. Fricke, Prediction of service life for vacuum insulation panels with fumed silica kernel and foil cover, *Journal of Thermal Envelope and Building Science* 28 (2005) 357–374.
- Kan, A., Zhang, X., Chen, Z., & Cao, D. (2023). Effective thermal conductivity of vacuum insulation panels prepared with recyclable fibrous cotton core. *International Journal of Thermal Sciences*, 187, 108176.
- Katsura, T., & Nagano, K. (2023). Investigation on Longer Service Life of Vacuum Insulation Panels by Applying Double Envelopes. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 396, p. 04009). EDP Sciences.
- Kwon, J. S., Jang, C. H., Jung, H., & Song, T. H. (2010). Vacuum maintenance in vacuum insulation panels exemplified with a staggered beam VIP. *Energy and Buildings*, 42(5), 590-597.
- Lakatos, Á., & Kovács, Z. (2021). Comparison of thermal insulation performance of vacuum insulation panels with EPS protection layers measured with different methods. *Energy and Buildings*, 236, 110771.
- Latsuzbaya, V., Middendorf, P., Völkle, D., & Weber, C. (2022). Improving the thermal properties of aircraft cabin interiors with the integration of vacuum insulation panels. *CEAS Aeronautical Journal*, 13(3), 705-718.
- Li, C., Li, B., Pan, N., Chen, Z., Saeed, M. U., Xu, T., & Yang, Y. (2016). Thermo-physical properties of polyester fiber reinforced fumed silica/hollow glass microsphere composite core and resulted vacuum insulation panel. *Energy and buildings*, 125, 298-309.
- Mao, S., Kan, A., Huang, Z., & Zhu, W. (2020). Prediction of thermal performance of vacuum insulation panels (VYPs) with micro-fiber core materials. *Materials Today Communications*, 22, 100786.
- Mukhopadhyaya, P., Kumaran, K., Lackey, J., Normandin, N., & Van Reenen, D. (2005). Long-term thermal resistance and use of vacuum insulation panel in buildings. In *10th Canadian Conference on Building Science and Technology* (pp. 169-181).

- Mukhopadhyaya, P., Kumaran, K., Normandin, N., van Reenen, D., & Lackey, J. (2008). High-performance vacuum insulation panel: development of alternative core materials. *Journal of Cold Regions Engineering*, 22(4), 103.
- Resalati, S., Okoroafor, T., Henshall, P., Simões, N., Gonçalves, M., & Alam, M. (2021). Comparative life cycle assessment of different vacuum insulation panel core materials using a cradle to gate approach. *Building and Environment*, 188, 107501.
- Simmler, H., Brunner, S., Heinemann, U., Schwab, H., Kumaran, K., Mukhopadhyaya, P., ... & Erb, M. (2005). Vacuum Insulation Panels-Study on VIP-components and panels for service life prediction of VIP in building applications (Subtask A). Vacuum Insulation Panels Subtask A, Report HiPTI-IEA/ECBCS Annex 39
- Verma, S., & Singh, H. (2022). Predicting the conductive heat transfer through evacuated perlite based vacuum insulation panels. *International Journal of Thermal Sciences*, 171, 107245.
- Verma, S., Sara, A., & Singh, H. (2023). Why and which opacifier for perlite based vacuum insulation panels (VIPs) in the average temperature range of 10–70° C. *International Journal of Thermal Sciences*, 186, 108136.
- Zach, J., Peterková, J., Dufek, Z., & Sekavčnik, T. (2019). Development of vacuum insulating panels (VYP) with non-traditional core materials. *Energy and Buildings*, 199, 12-19.
- Zhao, W., Yan, W., Zhang, Z., Gao, H., Zeng, Q., Du, G., & Fan, M. (2022). Development and performance evaluation of wood-pulp/glass fibre hybrid composites as core materials for vacuum insulation panels. *Journal of Cleaner Production*, 357, 131957.
- Zhuang, J., Ghaffar, S. H., Fan, M., & Corker, J. (2017). Restructure of expanded cork with fumed silica as novel core materials for vacuum insulation panels. *Composites Part B: Engineering*, 127, 215-221.



JEOİSTATİSTİK VE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEM (CBS) TEKNİKLERİ KULLANILARAK ERZİN OVASI (HATAY) TOPRAKLARININ BAZI BESİN ELEMENT İÇERİKLERİNİN YERSEL DEĞİŞİMLERİNİN HARİTALANMASI

Necat AĞCA^{1*}, Mehmet Selçuk COŞAR²

¹Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Hatay, Türkiye

²Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı, Hatay, Türkiye

Anahtar Kelimeler

*Erzin ovası,
Besin elementleri,
Kriging,
Jeoistatistik,
Coğrafi Bilgi Sistemleri
(CBS).*

Öz

Bu çalışmada, Erzin ovasındaki bazı toprakların besin element içeriklerinin belirlenmesi, bunların çalışma alanındaki mekânsal değişim desenlerinin ortaya konulması ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve jeoistatistiksel yöntemlerle haritalanması amaçlanmıştır. Çalışma alanında 0-30 cm derinlikten toplam 47 adet toprak örneği alınmıştır. Toprak örneklerinde; alınabilir sodyum (Na), potasyum (K), kalsiyum (Ca), magnezyum (Mg), alınabilir fosfor (P), yayılsız demir (Fe), bakır (Cu), mangan (Mn) ve çinko (Zn), analizleri yapılmıştır. Toprakların ortalama Na, K, Ca, Mg, P, Fe, Cu, Mn ve Zn içerikleri ise sırasıyla; 31.77, 122.88, 3579.17, 812.88, 14.67, 2.81, 1.03, 2.24 ve 1.22 mg kg⁻¹ olarak saptanmıştır. Element içeriklerinin varyasyon katsayıları (VK) % 12.34 (Na) ile % 129.783 (K) arasında değişmiştir. Parametrelerin tamamının değerleri normal dağılım göstermemiştir. Bu nedenle; P ve Mn içeriklerine ise karekök, diğerlerine ise logaritmik dönüşüm uygulanmıştır. Besin elementlerinden Na ve K için (Küresel) Spherical; P, Fe, Cu ve Mn için Üstel (Exponential); Ca, Mg ve Zn içerikleri için ise Gaussian modeli en uygun yarıvarioqram modeli olarak belirlenmiştir. Na, K, Ca, Mg, P, Mn ve Zn içerikleri kuvvetli; Fe ve Cu içerikleri ise orta düzeyde yersel otokorelasyon göstermiştir. Parametrelerin yersel otokorelasyon aralığı (Ao) değerleri ise 603 m (Mg) ile 7110 m (Fe ve Cu) arasında değişmiştir.

MAPPING THE SPATIAL CHANGES OF SOME NUTRIENTS CONTENTS OF THE ERZİN PLAIN (HATAY) SOILS USING GEOSTATISTIC AND GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM (GIS) TECHNIQUES

Keywords

*Erzin plain,
Nutrients,
Kriging,
Geostatistics,
Geographic
Information System (GIS).*

Abstract

This study aimed to determine the nutrient content of some Erzin plain soils, reveal the spatial variation patterns in the study area, and map them using Geographic Information Systems (GIS) and geostatistical methods. Forty-seven soil samples were taken from 0-30 cm depth in the study area. In soil samples, available sodium (Na), potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg), available phosphorus (P), available iron (Fe), copper (Cu), manganese (Mn) and zinc (Zn) were analyzed. The average Na, K, Ca, Mg, P, Fe, Cu, Mn, and Zn contents of the soils are, 31.77, 122.88, 3579.17, 812.88, 14.67, 2.81, 1.03, 2.24, and 1.22 mg kg⁻¹, respectively. The coefficients of variation (VK) of the element contents varied between 12.34 (Na) and 129.783 % (K). The values of all parameters did not show a normal distribution. Because Square root was applied to P and Mn contents, and logarithmic transformation was applied to the others. Spherical for Na and K; Exponential for P, Fe, Cu, and Mn; Gaussian model for Ca, Mg, and Zn contents were determined as the most suitable semivariogram model. Na, K, Ca, Mg, P, Mn, and Zn contents are strong; Fe and Cu contents showed moderate spatial autocorrelation. The Ao values of the parameters varied between 603 m (Mg) and 7110 m (Fe and Cu).

* İlgili yazar / Corresponding author: necagca@gmail.com, +90-5336514672

Alıntı / Cite

Ağca, N., Coşar, M.S., (2023). Jeostatistik ve Coğrafi Bilgi Sistem (CBS) Teknikleri Kullanılarak Erzin Ovası (Hatay) Topraklarının Bazı Besin Element İçeriklerinin Yersel Değişimlerinin Haritalanması, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(4), 1439-1451.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

N. Ağca, 0000-0003-4864-844X
M. S. Coşar, 0000-0002-3726-0346

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	25.05.2023
Revizyon Tarihi / Revision Date	29.09.2023
Kabul Tarihi / Accepted Date	02.10.2023
Yayın Tarihi / Published Date	30.12.2023

MAPPING THE SPATIAL CHANGES OF SOME NUTRIENTS CONTENTS OF THE ERZIN PLAIN (HATAY) SOILS USING GEOSTATISTIC AND GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM (GIS) TECHNIQUES

Necat AĞCA^{1†}, Mehmet Selçuk COŞAR²

1 Mustafa Kemal University, Faculty of Agriculture, Department of Soil Science and Plant Nutrituon, Hatay, Türkiye

2 Mustafa Kemal University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Soil Science and Plant Nutrituon, Hatay, Türkiye

Highlights

- The Ca and Mg contents in all soils were at sufficient or excessive levels.
- The Fe content of all soils was at insufficient (low and medium) levels.
- The most homogeneous distribution was determined in Na, and the least homogeneity was determined in K among the elements.

Purpose and Scope

In this study, it was aimed to determine some nutrient element contents of Erzin plain soils and to create their spatial distribution maps in the study area.

Design/methodology/approach

The study area, located within the borders of Erzin district of Hatay province covers an area of approximately 2200 hectares. In this research, a total of 47 degraded soil samples were taken from a depth of 0-30 cm according to the random sampling method to represent the study area. In addition, the geographical coordinates of each sampling point were determined according to the Universal Transverse Mercator UTM system with the GPS device. In the soil samples; available sodium (Na), potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg), available iron (Fe), copper (Cu), manganese (Mn), zinc (Zn), and available phosphorus (P) were analyzed. All analyzes were carried out in Mustafa Kemal University Research and Application Center (MARGEM) laboratories. Descriptive statistical analyzes (mean, lowest and highest values, standard deviation, etc.) of all parameters of the soils samples were performed. Geostatistical methods were used in modeling the spatial distribution of parameters related to nutrients. GS+ (version 10) Geostatistics package program was used to model the semivariograms. Geographic Information Systems (GIS) were used to create spatial distribution maps of nutrient element contents.

Findings

The mean Na, K, Ca, Mg, P, Fe, Cu, Mn and Zn contents of the soils were determined as 31.77, 122.88, 3579.17, 812.88, 14.67, 2.81, 1.03, 2.24 and 1.22 mg kg⁻¹, respectively. Coefficients of variation (VK) of element contents varied between 12.34% (Na) and 129.783% (K). Spherical for Na and K; Exponential for P, Fe, Cu, and Mn; Gaussian model for Ca, Mg, and Zn contents were determined as the most suitable semivariogram model. Na, K, Ca, Mg, P, Mn, and Zn contents are strong; Fe and Cu contents showed moderate spatial autocorrelation. When the distribution of Na contents of the soils in the study area is examined; It was observed that the lowest values were in the southeastern part of the area and the highest values were in the northwestern part. The amount of K is sufficient in the northwestern and northeastern parts while it was very little in the southeastern part. Calcium content is high in the northwestern part of the study area, and its amount is sufficient in the southern and eastern parts. The amount of Mg is high in almost the entire region, but sufficient in the southeast, northeast and west parts. The P content of the soil is sufficient in the western, northern and southeastern parts of the area, is low in a very small part of the western and northwestern region, and is high in the central and eastern parts. The

[†] İlgili yazar / Corresponding author: necagca@gmail.com, +90-5336514672

amount of Fe is insufficient in a large part of the study area and moderate in a small part in the southeastern part. It was determined that the Cu content in the region was high in the northern parts and a small area in the middle parts of the southern parts, and very high in the southernmost parts. The Mn content of the soils is moderate in the western, central and southeastern parts, and sufficient in a small part in the southernmost part. The amount of Zn is low in the western and northern parts of the study area, moderate in the central parts, and sufficient in the southern and southeastern parts.

Originality

Such a detailed research has not been conducted in the study area before. Additionally, since the samples were taken with their coordinates, the data obtained from this study will make a great contribution to the national soil database.

1. Giriş (Introduction)

Dünya nüfusu her geçen gün hızlı bir şekilde artmaktadır. Artan bu nüfusun gıda gereksinimlerini karşılamak için tarımsal üretimi de artan nüfusa orantılı olarak artırmak gerekir (Benice ve Ağca, 2022). Tarımsal üretim içerisinde bitkisel üretim önemli bir yer tutmaktadır. Dolayısıyla insanların gıda taleplerini karşılamak için bitkisel üretimi de artırmak gerekmektedir. Bunun için de ya birim alandan verimi artırmak ya da tarım kültürü altına alınacak alanları genişletmek gerekmektedir. Ülkemizde tarım arazileri artmak yerine sürekli azalmaktadır (Tüik, 2023). Artan bu nüfusun besin gereksinimlerinin karşılanması ancak toprakların bilinçli bir şekilde kullanılması ile mümkündür. Bu nedenle toprakların besin element içeriklerinin ve bunların yersel değişiminin belirlenmesi, toprakların sürdürülebilir kullanımı ve yönetimi açısından son derece önemlidir.

Toprakların özelliklerinin bilinmesi, tarımsal üretimin devamlılığı ve gıda güvenliği açısından büyük önem taşımaktadır. Topraklarda sürdürülebilir üretim; iyi bir toprak yönetimine ve toprakların kalitesini belirleyen özelliklerinin düzenli olarak izlenmesine bağlıdır. Bunun için de belirli zamanlarda toprak örneklerinin alınması ve bunların analiz edilmesi gerekir. Ancak, geniş alanlarda toprakların kalite değişiminin belirlenmesi için çok sayıda toprak örneğinin analizine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu durum büyük bir emek, para ve zaman gerektirmektedir. Bu nedenle örneklenmeyen noktalarda toprak özelliklerinin doğru tahminini mümkün kılacak ara değer tahmin (enterpolasyon) yöntemlerinin belirlenmesi zorunlu olmaktadır. Bu sayede, daha az noktada yapılacak örnekleme ile geniş alanlarda doğru bilgi üretmek ve buna bağlı olarak doğru planlama yaparak uygun toprak yönetim sistemlerini belirlemek mümkün olacaktır (Özdemir vd. 2019). Tüm bu işlemlerin yapılması jeostatistik ile mümkün olabilmektedir.

Jeostatistik, ölçülen herhangi bir özelliğin mekânsal yapısını ve mekânsal bağımlılığını inceleyen ve sayısallaştıran ve buradan elde edilen ilişkiyi kullanarak anılan özelliğin örneklenmemiş noktalardaki değerlerini tahmin eden uygulamalı istatistiğin bir kolu olarak tanımlanmaktadır (Isaaks ve Srivastava, 1989). Jeostatistiksel yöntemler iki aşamada uygulanmaktadır. Birinci aşamada, incelenecek olan toprak özelliğinin ölçülen noktaları arasındaki otokorelasyon, yani doğal olarak bulunan mekânsal bağımlılığın derecesi belirlenmektedir. Diğer aşamada ise ileri bir enterpolasyon tekniği kullanılarak, incelenen özelliğin örneklenmeyen nokta ve alanlardaki değerleri tahmin edilerek dağılım deseni belirlenmeye çalışılmaktadır. Yarıvariogramlar yersel bağımlılık derecesinin belirlenmesinde, kriging analizi ise enterpolasyon aşamasında yaygın olarak kullanılan araçlardır (Öztaş, 1995).

Toprak özelliklerinin yersel değişkenliklerinin belirlenmesi ve bu özelliklerin haritalanması; toprak ve ürün yönetimi için bir ön koşul olarak görülmektedir. Ayrıca, bu durum arazideki bozulma noktalarının belirlenmesinde de yararlıdır. Topraklardaki besin elementlerinin haritalanması, hassas tarımda ilk ve en önemli adımlardan biridir (Denton vd., 2017). Uygun olmayan arazi yönetimi uygulamaları nedeniyle toprağın bozulması, uygun değer arazi verimliliğindeki azalmaların başlıca nedenlerinden birisidir. Tarımsal üretkenlik, gıda güvenliği ve çevresel modelleme için de besin element içeriklerinin mekânsal değişkenliğinin bilinmesi gereklidir (Bhunja vd., 2018).

Bu çalışmada, Erzin ovası topraklarının bazı besin element içeriklerinin belirlenmesi ve bunların çalışma alanındaki mekânsal dağılım haritalarının oluşturulması amaçlanmıştır.

2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Erzin ovası Türkiye'nin en önemli turuncgil üretim merkezlerinden biridir. Buna rağmen ova toprakları ile ilgili olarak şu ana kadar detaylı inceleme ve haritalama çalışması yapılmamıştır. Bu çalışma ile ova topraklarının temel özellikleri ve bazı besin element içeriklerinin dağılımı belirlenmiştir. Bu da turuncgil ağaçlarının beslenmesi açısından son derece önemlidir.

Özyazıcı vd. (2017) Orta ve Doğu Karadeniz bölgesinde yaptıkları bir çalışmada, toprakların temel verimlilik özelliklerini belirlemiş ve Coğrafi Bilgi Sistemlerini kullanarak, bunların alandaki dağılım haritalarını oluşturmuştur. Benzer şekilde; Leena vd. (2021) Hindistan'ın Karnataka Eyaletindeki toprakların besin element içeriklerinin yersel dağılımı incelenmiştir. Doğan vd. (2020) tarafından yapılan bir çalışmada ise Hatay'ın Arsuz ilçesinde yer alan Arsuz ovası topraklarının mikrobiyal özelliklerinin ovadaki dağılımı jeostatistiksel yöntemlerle incelenmiştir.

Ordu ili-Altınordu ilçesi topraklarında yapılan bir çalışmada, DTPA ile ekstrakte edilebilen mikrobesin elementlerinin uzaysal değişkenliği jeostatistiksel teknikler uygulanarak incelenmiştir. Yaklaşık 40000 ha'lık bir alanda yapılan çalışmada, 0-20 cm derinlikten alınan 66 örnek analiz sonuçlarına göre; toprak reaksiyonu (pH) en az değişken özellik iken, elektriksel iletkenlik (EC) en fazla değişken özellik olarak belirlenmiştir. Yine bakır orta derecede uzaysal bağımlılığa, mangan ise en güçlü sahip olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, en büyük etki aralığı (17424 m) Cu için ve en düşük etki aralığı (692 m) Zn için belirlenmiştir (Aşkın vd., 2017).

Bhunia vd. (2018) tarafından Batı Bengal'deki (Hindistan) lateritik topraklarda yapılan bir çalışmada, toprak özelliklerinin jeostatistiksel yöntemlerle toprak özelliklerinin mekânsal dağılımı incelenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, toprakların önemli bir kısmının orta düzeyde otokorelasyon gösterdiği (nugget/sill oranı 0.25-0.75 arasında olduğu) belirlenmiştir. Ayrıca araştırmacılar, uygulanan jeostatistiksel modelin lateritik toprakların mekânsal değişkenliğini doğrudan ortaya çıkarabileceğini ve çiftçilere ve karar vericilere toprak-su yönetimini iyileştirmede yardımcı olacağını belirtmişlerdir.

Demircioğlu ve Ağca (2022) tarafından Arsuz ovasında (Hatay) yapılan bir çalışmada, toprakların çoğunda temel özellikleri için en uygun yarivariyogram modeli a Gaussian ve exponential (üssel) olarak belirlenmiştir. Toprak örneklerinin tamamı kuvvetli ve orta düzeyde yersel bağımlılık olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, toprak özelliklerinin ilişkili olabileceği en fazla uzaklıkların 850-7776 m arasında olduğu görülmüştür.

Kolombiya'daki tarım kültürü altında olan ve doğal koşullarda olan asidik topraklarda yapılan bir çalışmada, toprakların fizikokimyasal özelliklerinin yersel değişimi belirlenmiştir. Çalışma sonuçlarına göre; toprakların tamamı asidik özellikte, EC değerlerine göre tuzsuz, organik madde içerikleri düşüktür. P konsantrasyonları tarımsal ve doğal topraklarda sırasıyla 1.95 ile 54.11 mg kg⁻¹ (ortalama 7.44 mg kg⁻¹) ve 1.94-49.33 mg kg⁻¹ (ortalama 11.02 mg kg⁻¹) arasında değişmiştir. Toprakların tamamı güçlü uzaysal değişkenlik ve zayıfotokorelasyon göstermiş olup, toprak özelliklerinin çoğunda önemli ölçüde heterojenlik görülmüştür (Trujillo-González vd., 2022).

Çin'in batısındaki Shaanxi Eyaletinde yer alan Daliuta maden alanında yapılan bir çalışmada, topraktaki besin elementlerinin dağılımı ve besin elementlerini etkileyen faktörler araştırılmıştır. Araştırma sonuçlarında Organik madde, alınabilir azot, fosfor, potasyum düzeyleri ve toprak tuz içeriği orta düzeyde değişiklik göstermiş, pH değerleri çok fazla değişmemiştir. Buna karşılık toprak nem içeriğinin güçlü bir şekilde değiştiği görülmüştür. Organik madde, pH ve toprak tuzluluğu mekânsal olarak orta düzeyde ve azot, fosfor, potasyum ve toprak nem içeriği uzaysal olarak zayıf bir şekilde otokorelasyona sahiptir. Tüm toprak özellikleri için en uygun variyogram modelleri Exponential ve Spherical olarak belirlenmiştir. Otokorelasyon aralıkları (A₀) ise 15-1140 m arasında değişmiştir (Long vd., 2022).

Zeraatpisheh vd. (2022) tarafından İran'ın Fars ilinin güneydoğu kesiminde, Darab ilçesinde yer tarım ve doğal arazilerde yapılan bir çalışmada, temel toprak özellikleri ve besin element içeriklerinin yersel dağılımı belirlenmiştir. Çalışma sonuçlarında toprak özellikleri ve besin element içeriklerinin tamamı için en uygun yarivariyogram modelinin Spherical ve Exponential olduğu belirlenmiştir. Çalışmada ayrıca A₀ değerlerinin 2650 m(Fe) ile 14620 m (Cu) arasında değiştiği görülmüştür.

Hatay ilinin Dörtüyl ilçesinde Aşkiner (2022)'nin yaptığı bir çalışmada, topraklardaki besin element içeriklerinin yersel dağılımı belirlenmiştir. Çalışma sonuçlarına göre, toprak parametrelerinin varyasyon katsayısı (VK) % 1.86 (pH) ile % 120.85 (K) arasında değişmiştir. Toprak özelliklerinden pH, EC, kireç, OM, P, Mn ve Zn için Üssel (Exponential); nem, kum, kil, Ca, Na, Mg ve Fe için Gaussian, silt ve K için Küresel (Spherical), Cu için ise Doğrusal (Linear) model en uygun yarivariyogram modeli olarak belirlenmiştir.

Ağca ve Kan (2022) tarafından Trabzon'un Akçaabat ilçesindeki bazı fındık bahçelerinde topraklardaki makro ve mikro besin elementlerin düzeyleri belirlenmiştir. Toprak örneklerinin pH, EC ve kireç içerikleri sırasıyla 5.5 ile 7.4, 72 ile 613 µS cm⁻¹ ve % 0.42 ile %4.95 arasında değişmiştir. Yine toprakların OM, alınabilir P, K, Ca ve Mg içeriklerinin sırasıyla % 0.34 ile 3.76, 7.27 ile 98.34 mg Kg⁻¹, 41.5 ile 1294.5 mg Kg⁻¹, 6700 ile 20200 mg Kg⁻¹ arasında değiştiği belirlenmiştir. Topraklardaki alınabilir mikro elementlerden Fe, Zn, Mn ve Cu içerikleri ise sırasıyla 2.75 ile 95.85 mg Kg⁻¹, 0.44 ile 2.95 mg Kg⁻¹, 4.37 ile 62.60 mg Kg⁻¹, 0.68 ile 4.70 mg Kg⁻¹ arasında değiştiği

saptanmıştır. Araştırma bulguları, besin elementlerinin çoğunun bitkiler için yeterli ve fazla düzeyde olduğunu ortaya koymuştur.

Hindistan'ın Anuppur bölgesinde Tagore vd. (2023)'ün yaptıkları çalışmada, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak topraklardaki besin element içeriklerinin yersel dağılım haritaları oluşturmuştur. Çalışmada, toprakların yaklaşık %54.06'nın Zn içeriklerinin eksik olduğu görülmüştür. Jeostatistiksel sonuçlar, pH, kalsiyum karbonat (CaCO_3), OC ve Zn üstel modelin, EC ve demir (Fe) için küresel modelin en uygun olduğunu göstermiştir. Yine, pH, EC, OC, Zn, Cu ve Fe orta derecede uzaysal bağımlılık göstermiştir.

3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

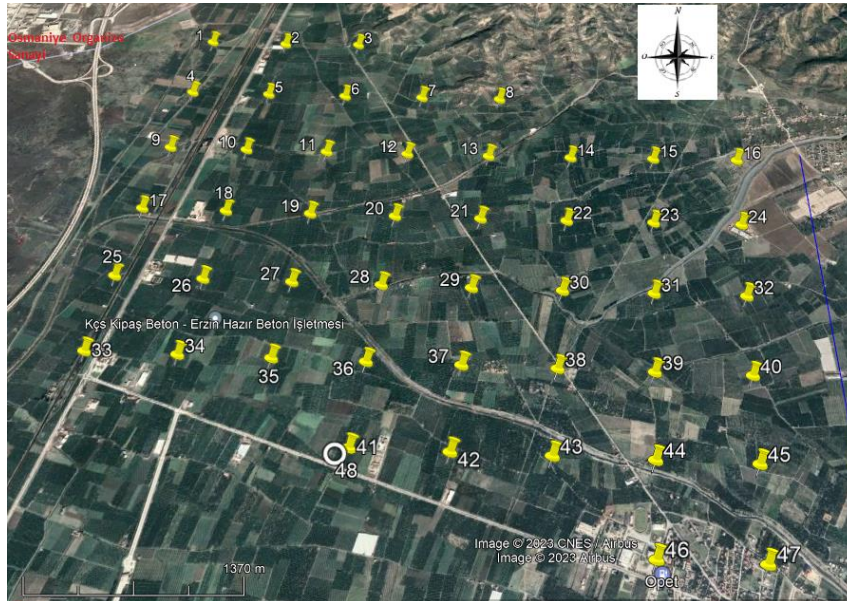
3.1. Çalışma Alanının Coğrafi Konumu ve Özellikleri (Geographical Location and Features of The Study Area)

Hatay ili Erzin ilçesi sınırlarında yer alan ($36^{\circ}57'53''$ ve $36^{\circ}59'56''$ K ve $36^{\circ}07'34''$ ve $36^{\circ}12'45''$ D) çalışma bölgesi yaklaşık 2200 hektarlık bir alan kaplamaktadır. Çalışma alanı Adana, Osmaniye, Dörtöyl ve İskenderun Körfezi ile çevrilidir (Anonim, 2016). Çalışma alanının özellikle doğu kesimlerinde, narenciye üretimi oldukça fazladır. Alanının neredeyse tamamı narenciye örtüsü ile kaplıdır. Ovanın ortasında yer alan Haydar Dağında kuru tarım uygulanmaktadır. Burada soğan ve tahıl üretimi ön sırada yer almaktadır. (Doyuran, 1982). Çalışma alanında yazları sıcak ve kurak, bahar ve kış ayları ise ılık ve yağışlı geçen tipik Akdeniz iklimi hüküm sürmektedir. Çalışma alanının yer aldığı Hatay'da yıllık ortalama yağış toplamı 1161.5 mm, ortalama sıcaklık ise 18.3°C 'dir (Anonim, 2023). Ovanın büyük bir kısmını örten alüvyonlar sel suları ve akarsu çökellerinden oluşmuştur. Akarsu yataklarında genellikle çakıllı ve yer yer kumlu olan alüvyonlar ovaların diğer kısımlarında daha çok kumlu, siltli ve killidir. Ovada alüvyonların kalınlığı 10-60 m arasında değişmektedir (Doyuran, 1982).

3.2. Yöntem (Method)

3.2.1. Toprak örnekleme ve analizleri (Soil sampling and analysis)

Bu çalışmada, çalışma alanını temsil edecek şekilde rastgele örnekleme yöntemine göre, 0-30 cm derinlikten toplam 47 adet bozulmuş toprak örneği alınmıştır (Şekil 1). Ayrıca GPS cihazı ile her bir örnekleme noktasının Universal Transverse Mercator UTM sistemine göre coğrafi koordinatları (WGS84 datum ve 37. dilim) belirlenmiştir.



Şekil 1. Çalışma alanının konumu ve toprak örnekleme noktaları (Location of the study area and soil sampling points)

Alınan toprak örnekleri plastik tavalara serilmiş ve kurutulduktan sonra 2 mm çaplı elekten geçirilerek analize hazır hale getirilmiştir. Toprak örneklerinde; alınabilir sodyum (Na), potasyum (K), kalsiyum (Ca), magnezyum (Mg), yarayışlı demir (Fe), bakır (Cu), mangan (Mn), çinko (Zn), ve yarayışlı fosfor (P) analizleri yapılmıştır. Alınabilir Na, K, Ca ve Mg amonyum asetat ekstraksiyon yöntemi ile (Richards, 1954), yarayışlı Fe, Cu, Mn ve çinko Zn içerikleri DTPA ekstraksiyon yöntemi ile (Lindsay ve Norwell, 1978), alınabilir P içeriği ise Olsen vd. (1954)'e

göre belirlenmiştir. Tüm analizler Mustafa Kemal Üniversitesi Araştırma ve Uygulama Merkezi (MARGEM) laboratuvarlarında yapılmıştır.

3.2.2. İstatistiksel analizler (Statistical analysis)

Araştırma konusu topraklara ait bütün parametrelerin tanımlayıcı istatistik analizleri (ortalama, en düşük ve en yüksek değerler, standart sapma, varyasyon katsayısı, yatıklık, basıklık vb.) yapılmış ve toprak örneklerine ait parametrelerin normal dağılım gösterip göstermediğinin belirlenmesi amacıyla her bir parametreye ait verilere normalite testi (Kolmogorov-Smirnov ve Shapiro-Wilk testleri) uygulanmıştır (Tablo 1) (Liu vd., 2006). Tüm istatistik analizler SPSS (versiyon 22) istatistik paket programı ile yapılmıştır.

3.2.3. Verilerin modellenmesi ve haritalaması (Modeling and mapping of data)

Besin elementleri ile ilgili parametrelerin yersel dağılımının modellenmesinde, Jeostatistiksel yöntemler kullanılmıştır. Yarıvariogramların modellenmesinde GS⁺ (sürüm 10) Jeostatistik paket programı kullanılmıştır (Gamma design, 2008). Besin element içeriklerinin mekânsal dağılım haritalarının oluşturulmasında ise Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılmıştır. Bu kapsamda her bir besin element içeriğinin dağılım haritaları ArcGIS (sürüm 10.6.1) programı ile oluşturulmuştur (Töreay vd., 2010). Bu programda herhangi bir toprak özelliğinin örneklenen noktadaki değerleri kullanılarak araştırma alanında örneklenmeyen noktalarda tahminler yapmak için ordinary kriging enterpolasyon yöntemi kullanılmıştır.

Tablo 1. Topraklardaki besin element içeriklerinin normalite test sonuçları (Normality test results of nutrient content in soils)

Parametre	Kolmogorov-Smirnov		Shapiro-Wilk	
	İstatistik	P	İstatistik	*P
Na	0.201	0.000	0.857	0.000
K	0.300	0.000	0.505	0.000
Ca	0.226	0.000	0.869	0.000
Mg	0.146	0.014	0.911	0.002
Fe	0.176	0.001	0.900	0.001
Cu	0.200	0.000	0.774	0.000
Mn	0.098	0.200	0.950	0.048
Zn	0.293	0.000	0.579	0.000
P	0.131	0.043	0.930	0.008

* P> 0.05 normal dağılım gösteren veriler, *p < 0.05 normal dağılım göstermeyen veriler

Besin elementleri ile ilgili parametrelerinin uzaysal bağımlılıklarının değerlendirilmesinde, Cambardella vd. (1994) tarafından önerilen nugget yarıvaryansın (C0) toplam variansa (C0 + C) oranının yüzdesi kullanılmıştır. Bu değer % 25 veya daha düşük ise uzaysal bağımlılık kuvvetli, %25-75 arasında ise orta, % 75'den büyük ise uzaysal bağımlılık zayıf olarak değerlendirilmektedir. Ayrıca parametrelerin varyasyon katsayılarının değerlendirilmesinde Zhou vd. (2012) tarafından önerilen kıstaslar kullanılmıştır. Buna göre herhangi bir parametrenin varyasyon katsayısı % 10'dan düşük ise değişkenlik düzeyi düşük, % 10-100 arasında ise değişkenlik düzeyi orta ve % 100'den büyük ise değişkenlik düzeyi yüksek olarak değerlendirilmiştir.

4. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

4.1. Toprakların Besin Element İçerikleri (Nutrient Element Contents of The Soils)

Araştırma alanı topraklarındaki besin element içeriklerinin tanımlayıcı analiz sonuçları Tablo 2'de verilmiştir. Çalışma alanı toprakların Na içerikleri 26.84 mg kg⁻¹ (15 nolu örnek) ile 43.82 mg kg⁻¹ (16 nolu örnek) arasında değişmiş olup ortalama Na değeri 31.77 mg kg⁻¹ olarak bulunmuştur (Tablo 2).

Toprakların alınabilir K içerikleri 24.90 mg kg⁻¹ (43 nolu örnek) ile 1054.60 mgkg⁻¹ (23 nolu örnek) arasında değişiklik göstermiş olup; ortalama K değeri 122.88 mg kg⁻¹'dir (Tablo 2). Alınabilir K içeriklerinin sınır değerlerle (FAO, 1990) kıyaslanması sonucunda; K değerlerinin toprakların % 21.28'inde çok az, %59.57'sinde az, %14.89'unda yeterli ve %4.25'inde fazla, olduğu saptanmıştır. Erdal ve Doğan (2018), Burdur'da yaptıkları çalışmada bitkiye yararlı K içerikleri; toprakların %7'sinde az, % 42'sinde yeterli, % 48'inde fazla ve %3'ünde çok fazla düzeyde olduğu belirlenmiştir.

Toprakların Ca içerikleri 625.82 mg kg⁻¹ (44 nolu örnek) ile 8593.77 mg kg⁻¹ (1 nolu örnek) arasında değiştiği ve ortalama Ca değerinin ise 3579.17 mg kg⁻¹ olduğu belirlenmiştir. Sınır değerlerine (FAO, 1990) göre kalsiyum;

toprakların %2.12'sinde az, %55.32'sinde yeterli ve %42.55'inde ise fazla olduğu tespit edilmiştir. Everest ve Özcan (2018)'in Ezine (Çanakkale) bölgesinde yaptıkları çalışmada, toprakların kalsiyum miktarı 113.05-11505 mg kg⁻¹ arasında değişmekte olup ortalama 5047.41 mg kg⁻¹ olduğu bulunmuştur.

Tablo 2. Besin element içeriklerinin tanımlayıcı analiz sonuçları (Descriptive analysis results of nutritional element contents)

	Na	K	Ca	Mg	P	Fe	Cu	Mn	Zn
Değerler	mg kg ⁻¹								
EK	26.84	24.90	625.82	322.62	2.00	0.76	0.13	0.34	0.12
EY	43.82	1054.60	8593.77	1656.96	35.64	6.20	5.32	5.67	8.63
Ort.	31.77	122.88	3579.17	812.88	14.67	2.81	1.03	2.24	1.22
SS	3.92	159.54	2181.83	381.25	9.49	1.44	1.04	1.03	1.51
Çarpıklık	1.40	4.63	0.85	0.76	0.63	0.94	2.14	0.93	3.49
Bas.	1.57	25.86	-0.36	-0.483	-0.49	-0.05	5.64	1.54	13.89
VK	12.34	129.83	60.96	46.90	64.69	51.25	100.97	45.98	123.77

EK: en küçük değer, EY: en yüksek değer, Ort.: ortalama değer, SS: standart sapma, VK: varyasyon katsayısı, Çarpıklık : yatıklık katsayısı, Bas. : basıklık katsayısı

Toprakların Mg içeriklerinin 322.62 mg kg⁻¹ (23 nolu örnek) ile 1656.96 mg kg⁻¹ (28 nolu örnek) arasında ve ortalama 812.88 mg kg⁻¹ olduğu belirlenmiştir. Çalışma alanı topraklarında bitkiye yararlı Mg içerikleri; toprakların %23.40'ında yeterli, %70.21'inde fazla ve %6.38'inde çok fazla olarak bulunmuştur (FAO, 1990). Erdal ve Doğan (2018)'in bu konuda yaptıkları çalışmada da benzer sonuçlar bulunmuştur. Özkan vd. (2009) Antalya'da elma yetiştirilen topraklarda, değişebilir Mg içeriğinin 155-2280 mg kg⁻¹ arasında değiştiğini ve toprakların tümünün iyi düzeyde alınabilir Mg'a sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Yağmur ve Okur (2018) Salihli (Manisa)'daki bağ topraklarında yaptıkları bir araştırmada, toprakların magnezyum içeriğinin 150-225 mg kg⁻¹ arasında değiştiğini saptamışlardır.

Çalışma alanı topraklarındaki P içeriklerinin 2.00 mg kg⁻¹ (8 nolu örnek) ile 35.64 mg kg⁻¹ (28 nolu örnek) değiştiği, ortalama değer ise 14.67 mg kg⁻¹ olduğu saptanmıştır. Toprakların P içerikleri sınır değerlere (Olsen vd., 1954) göre değerlendirildiğinde; P içeriğinin toprakların %2.13'ünde çok az, %34.04'ünde az, %48.94'ünde yeterli ve %14.89'ünde fazla olarak belirlenmiştir. Erdal ve Doğan (2018) yaptıkları çalışmada P içeriklerinin toprakların %3'ünde az, %58'inde yeterli, %36'sında fazla ve %3'ünde ise çok fazla olduğu tespit edilmiştir.

Topraklardaki alınabilir Fe içerikleri 0.76 mg kg⁻¹ (1 nolu örnek) ile 6.20 (24 nolu örnek) arasında (Tablo 2) değişmektedir. Çalışma alanı topraklarının Fe içeriği ortalamasının ise 2.81 mg kg⁻¹ olduğu tespit edilmiştir. Toprakların Fe içeriği standart değerlerle (Lindsay ve Norwell, 1978) kıyaslandığında; Fe miktarı toprakların %85.11'inde az ve %14.89'unda orta düzeydedir. Özden vd. (2020) tarafından İzmir'de yapılan çalışmada; Fe miktarı 2.04-269.70 mg kg⁻¹ arasında değişmiştir. Toprakların %90.84'ünde Fe'in yüksek düzeyde olduğu belirlenmiştir. Paris vd. (2020) tarafından bir çalışmada, São Mateus'da (Brezilya) topraklardaki Fe içeriklerinin 94.1-583.0 mg kg⁻¹ arasında değiştiği belirlenmiştir.

Çalışma alanında bitkiye yararlı Cu içeriklerinin 0.13 mg kg⁻¹ (18 nolu örnek) ile 5.32 mg kg⁻¹ (42 nolu örnek) arasında olduğu (Tablo 2) görülmektedir. Topraklarının ortalama Cu içeriği ise 1.03 mg kg⁻¹ olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca toprakların Cu içerikleri standart değerlere (Lindsay ve Norwell, 1978) karşılaştırıldığında Cu içeriği toprakların; %14.89'unda az, %14.89'unda orta %23.40'ında yeterli, %27.66'sında yüksek ve %19.15'inde ise çok yüksek değere sahip olduğu saptanmıştır. Benzer şekilde, Everest ve Özcan (2018) Ezine (Çanakkale) yöresinde yaptıkları çalışmada inceleme alanının tamamında yeterli miktarda Cu (>0.2 mg kg⁻¹) olduğu belirtilmiştir. Çataklı Çayı Havzasında (Trabzon) çalışan Saygın vd. (2017), yüzey topraklarının ortalama Cu miktarının 1.04 mg kg⁻¹ iken yüzey altı topraklarında bu değer 0.46-3.52 mg kg⁻¹ arasında değiştiğini bildirmektedir.

Çalışma alanındaki Mn içerikleri 0.34 mg kg⁻¹ (8 nolu örnek) ile 5.67 mg kg⁻¹ (41 nolu örnek) arasında değişmekte olup; tüm alanın ortalaması 2.24 mg kg⁻¹ 'dir. Lindsay ve Norwell (1978)'e göre Mn içerikleri toprakların %65.96'sında az, %23.40'ında orta ve %10.64'ünde yeterli seviyede olduğu belirlenmiştir. Özden vd. (2020)'nin İzmir ilinde yaptıkları araştırma sonuçlarına göre; ekstrakte edilebilir Mn miktarı 2.20-299.60 mg kg⁻¹ arasında değişmekte olup, toprakların %96.61'inde Mn'nin yüksek düzeyde olduğu tespit edilmiştir.

Bitkiye yararlı Zn içerikleri 0.12 mg kg⁻¹ (4 nolu örnek) ile 8.63 mg kg⁻¹ (29 nolu örnek) arasında değiştiği ve çalışma alanının ortalama Zn içeriğinin ise 1.22 mg kg⁻¹ olduğu belirlenmiştir. Sınır değerleri (Lindsay ve Norwell,

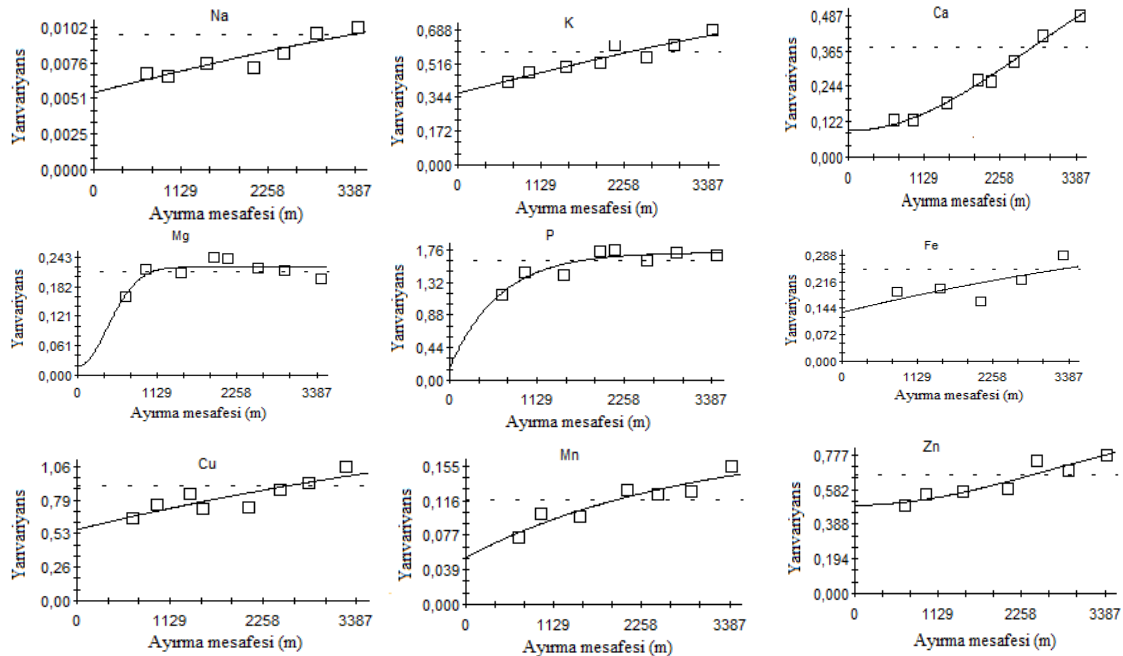
1978) ile kıyaslandığında; toprakların %36.17'sinin Zn içeriği az, %40.42'sinin orta, %12.76'sının yeterli ve %10.64'ünün yüksek seviyede olduğu saptanmıştır. Özden ve ark. (2020)'nin benzer konuda yaptıkları çalışmada Zn miktarı 0.07-19.14 mg kg⁻¹ arasında değişmekte olup, toprakların %44.42'sinde Zn'nin orta düzeyde olduğu saptanmıştır. Bulgaristan'ın güneyinde yapılan bir çalışmada, toprakların bitkilerce alınabilir Zn içeriklerinin 0.59-11.4 mg kg⁻¹ arasında değiştiği belirlenmiştir (Zaprianova ve Hristozova, 2019).

Toprakların besin elementleri içerisinde varyasyon katsayısı (VK) en düşük olanı Na (%12.34) iken, en yüksek VK değeri K (potasyum) (%129.83)'a aittir. Bu durum besin elementleri içerisinde en çok homojen dağılım gösterenin Na, en az homojenlik gösterenin ise K olduğunu göstermektedir. Bu durum yatıklık değerlerini de açıklamaktadır. Yatıklık değerleri ne kadar küçük çıkarsa araştırma alanındaki dağılımın da o kadar homojen olduğu anlaşılmaktadır. VK değeri yüksek olan K (potasyum) içeriğinin aynı zamanda yatıklık değerlerinin de yüksek olduğu görülmektedir.

4.2. Besin Element İçeriklerinin Yersel Dağılımlarının Modellenmesi (Modeling of Spatial Distribution of Nutrient Element Contents)

Toprakların besin element içerikleri ile ilgili parametrelerin yersel dağılımının modellenmesinde Windows uyumlu GS⁺ (sürüm 10) Jeostatistik paket programı kullanılmıştır. Bu program ile parametrelerin yarıvariogram grafikleri ve bunlara ait parametreler belirlenmiştir (Şekil 2, Tablo 3). En uygun yarıvariogram modelini belirlemek amacıyla tüm parametreler için aktif ayırma uzaklıkları 3387 m olarak alınmıştır. Ayrıca, tüm yarıvariogram modelleri izotropik olarak belirlenmiştir.

Toprakların tüm besin element içeriklerinin yatıklık değerlerinin yüksek (Tablo 2) olması ve normalite testlerinde (Shapiro-Wilk testi) normal olmayan dağılım göstermesi (Tablo 1) nedenleriyle, jeostatistiksel modellemelerden önce Na, K, Ca, Mg, Fe, Cu ve Zn içeriklerine logaritmik; P ve Mn içeriklerine ise karekök dönüşüm uygulanmıştır. Srinivasan vd. (2022) tarafından yapılan çalışmada K, Zeraatpisheh vd. (2022) tarafından yapılan çalışmada ise Mg içerikleri için yatıklık değeri yüksek olarak belirlenmiştir. Selmy vd. (2022) tarafından yapılan çalışmada ise Cu için yatıklık değeri çok düşük çıkmıştır.



Şekil 2. Besin element içeriklerinin yarıvariogram grafikleri (Semivariogram plots of nutrient content)

Tablo 3. Besin element içeriklerinin yarıvariogram parametreleri (Semivariogram parameters of nutriens contents)

Özellik	Model	A ₀	Nugget (Co)	Sill (Co+C)	Nugget/Sill*100	R ²
Na	Küresel	6146	5.520E-003	1.114E-002	0.50	0.832
K	Küresel	6922	0.366	0.799	0.46	0.874
Ca	Gaussian	3803	0.091	0.802	0.11	0.990
Mg	Gaussian	603	0.0188	0.2226	0.08	0.652
P	Üstel	642	0.162	1.728	0.09	0.834
Fe	Üstel	7110	0.1330	0.4520	29.42	0.504
Cu	Üstel	7110	0.560	1.702	32.9	0.723
Mn	Üstel	2875	0.0528	0.1846	0.29	0.880
Zn	Gaussian	3714	0.496	0.9930	0.50	0.877

Toprakların Na içeriklerine ait en uygun yarıvariogram modelini belirlemek için; ayırma mesafeleri eşit bir şekilde 395 m olarak alınmış ve en uygun yarıvariogram modeli Küresel (Spherical) olarak belirlenmiştir (Şekil 2, Tablo 3). Peter-Jerome vd. (2022) ise Na için en uygun yarıvariogram modelini Üstel (Exponential) olarak belirlemişlerdir. Toprakların Na içerikleri için yersel otokorelasyon aralığı (A₀ değeri) 6146 m olarak, nugget/sill oranına göre yersel bağımlılığın kuvvetli düzeyde olduğu belirlenmiştir.

Topraklardaki K içerikleri için ayırma mesafeleri eşit olarak 394 m alınarak en uygun yarıvariogram modeli Küresel (Spherical) olarak belirlenmiştir (Şekil 2, Tablo 3). Potasyum içerikleri için yersel otokorelasyon aralığı (A₀ değeri) 6922 m olarak belirlenmiştir. Zeraatpisheh vd. (2022) tarafından yapılan çalışmada ise toprakların K içerikleri için A₀ değeri 5630 m olarak belirlenmiştir. Toprakların K değerlerinde, nugget/sill oranına göre, yersel bağımlılığın kuvvetli düzeyde olduğu belirlenmiştir. Denton vd. (2017) ise K değerlerinde yersel bağımlılık düzeyini orta olarak bulmuşlardır.

Toprakların Ca konsantrasyonları için, en uygun yarıvariogram modelini belirlemek için ayırma mesafeleri ise eşit bir şekilde 390 m olarak alınmış ve en uygun yarıvariogram modeli Gaussian olarak belirlenmiştir (Şekil 2, Tablo 3). Toprakların Ca içerikleri için yersel otokorelasyon aralığı (A₀ değeri) 3803 m, nugget/sill oranına göre ise, yersel bağımlılığın kuvvetli düzeyde olduğu belirlenmiştir. Peter-Jerome vd. (2022) da bu konuda benzer sonuçlar elde etmişlerdir.

Topraklarda Mg için ayırma mesafeleri eşit bir şekilde 392 m olarak alınarak en uygun yarıvariogram modeli Gaussian olarak belirlenmiştir (Şekil 2, Tablo 3). Toprakların Mg içerikleri için yersel otokorelasyon aralığı (A₀ değeri) 603 m, nugget/sill oranına göre, yersel bağımlılığın kuvvetli düzeyde olduğu belirlenmiştir. Peter-Jerome vd. (2022) ise Mg için yersel bağımlılığın orta düzeyde olduğunu belirlemişlerdir.

Toprakların P için, en uygun yarıvariogram modelini belirlemek için ayırma mesafeleri eşit bir şekilde 392 m olarak alınmış ve en uygun model Üstel (Exponential) olarak belirlenmiştir (Şekil 2, Tablo 3). Denton ve ark. (2017) da bu konuda benzer sonuçlar bulmuşlardır. Toprakların P içerikleri için yersel otokorelasyon aralığı (A₀ değeri) 642 m olarak, nugget/sill oranına göre, yersel bağımlılığın ise kuvvetli düzeyde olduğu belirlenmiştir.

Toprakların Fe içerikleri için ayırma mesafeleri eşit bir şekilde 582 m olarak alınarak en uygun yarıvariogram modeli Üstel (Exponential) olarak belirlenmiştir (Şekil 2, Tablo 3). Toprakların Fe içerikleri için yersel otokorelasyon aralığı (A₀ değeri) 7110 m olarak, nugget/sill oranına göre, yersel bağımlılığın ise orta düzeyde olduğu belirlenmiştir.

Toprakların Cu için, en uygun yarıvariogram modelini belirlemek için; ayırma mesafeleri eşit bir şekilde 382 m olarak alınmış ve en uygun yarıvariogram modeli Üstel (Exponential) olarak belirlenmiştir (Şekil 2, Tablo 3). Toprakların Cu içerikleri için yersel otokorelasyon aralığı (A₀ değeri) 7110 m olarak belirlenmiştir. Peter-Jerome vd. (2022) tarafından yapılan bir çalışmada ise Cu için A₀ değeri 6073 m olarak belirlenmiştir. Nugget/sill oranına göre, topraklarının Cu değerlerinde yersel bağımlılığın orta düzeyde olduğu belirlenmiştir.

Topraklardaki Mn için, en uygun yarıvariogram modelini belirlemek amacıyla ayırma mesafeleri eşit bir şekilde 366 m olarak alınarak en uygun yarıvariogram modeli Üstel (Exponential) olarak belirlenmiştir (Şekil 2, Tablo 3). Bu konuda Peter-Jerome vd. (2022) da benzer sonuçlar elde etmişlerdir. Toprakların Mn içerikleri için yersel otokorelasyon aralığı (A₀ değeri) 2875 m olarak, nugget/sill oranına göre, Mn değerlerindeki yersel bağımlılığın ise kuvvetli düzeyde olduğu belirlenmiştir.

Toprakların Zn için, ayırma mesafeleri eşit bir şekilde 386 m olarak alınmış ve en uygun yarıvariogram modeli Gaussian olarak belirlenmiştir (Şekil 2, Tablo 3). Toprakların Zn içerikleri için yersel otokorelasyon aralığı (A₀ değeri) 7110 m olarak belirlenmiştir. Peter-Jerome vd. (2022) ise yaptıkları çalışmada Zn için otokorelasyon

aralığını 21065 m olarak belirlemişlerdir. Çalışma alanı topraklarının Zn değerlerinde, nugget/sill oranına göre, yersel bağımlığın orta düzeyde olduğu belirlenmiştir.

4.3. Yersel Dağılım Haritaları (Spatial Distribution Maps)

Yarıvariogramın parametreleri kullanılarak bir CBS programı olan ArcGIS (sürüm 10.6.1.) ile ordinary kriging enterpolasyon yöntemi kullanılarak her bir besin element içeriğinin çalışma alanındaki dağılım haritaları oluşturulmuştur (Şekil 3).

Toprakların Na içeriklerinin çalışma alanındaki dağılımı incelendiğinde; en düşük değerlerin (25-30 mg kg⁻¹) alanın güneydoğu kesiminde, en yüksek değerlerin (35-40 mg kg⁻¹) ise kuzeybatı kesiminde olduğu görülmektedir. Çalışma alanında en fazla rastlanan Na içerikleri ise 30-35 mg kg⁻¹ arasında değişmektedir. Bölgenin kuzeybatı bölgesinde ve kuzeydoğu bölgesinde K miktarı yeterli olmaktadır. Bölgenin güneydoğu kısmındaki K miktarının ise çok az olduğu görülmektedir. Kalsiyum içeriği çalışma alanının kuzeybatı bölümünde fazla, güney ve doğu kısımlarında ise miktarı yeterli seviyededir (Şekil 3).

Bölgenin tamamına yakın bölümünde Mg miktarı fazla olarak görünmektedir. Bölgede güneydoğu, kuzeydoğu ve batı kısmında az da olsa Mg miktarı yeterlidir. Orta doğu kısmında ve batı kısmının çok az bölgesinde Mg miktarı çok fazladır. Alanın batı bölümünde, kuzey kısmının bir bölümünde ve güneydoğu kısmının iç kesimlerinde P miktarının yeterli düzeyde olduğu görülmektedir. Bölgenin batı ve kuzeybatı bölgelerinin çok az bir kısmında P miktarı azdır. Bölgenin iç ve doğu kısmında P miktarı ise fazladır (Şekil 3).

Çalışma alanının büyük bir kısmında Fe miktarı yetersiz, güneydoğu kesimindeki küçük bir kısımda orta düzeydedir. Alandaki Cu içerikleri kuzey kesimlerindeki küçük bir alanda ve güney kesimlerinin orta kısımlarında yüksek, en güneye kısımlarında ise çok yüksek miktarda olduğu belirlenmiştir. Toprakların Mn içerikleri batı, orta ve güneydoğu kesimlerinde orta en güney kısmındaki az bir bölümünde ise yeterli düzeydedir. Alanın büyük bir bölümünde daha çok batısında ve kuzeyindeki Mn miktarı ise yetersiz düzeydedir. Çalışma alanının batı ve kuzey kesimlerinde Zn miktarı az, orta kesimlerde orta, güney ve güneydoğu kısımlarında ise yeterli seviyededir (Şekil 3).

5. Sonuçlar (Results)

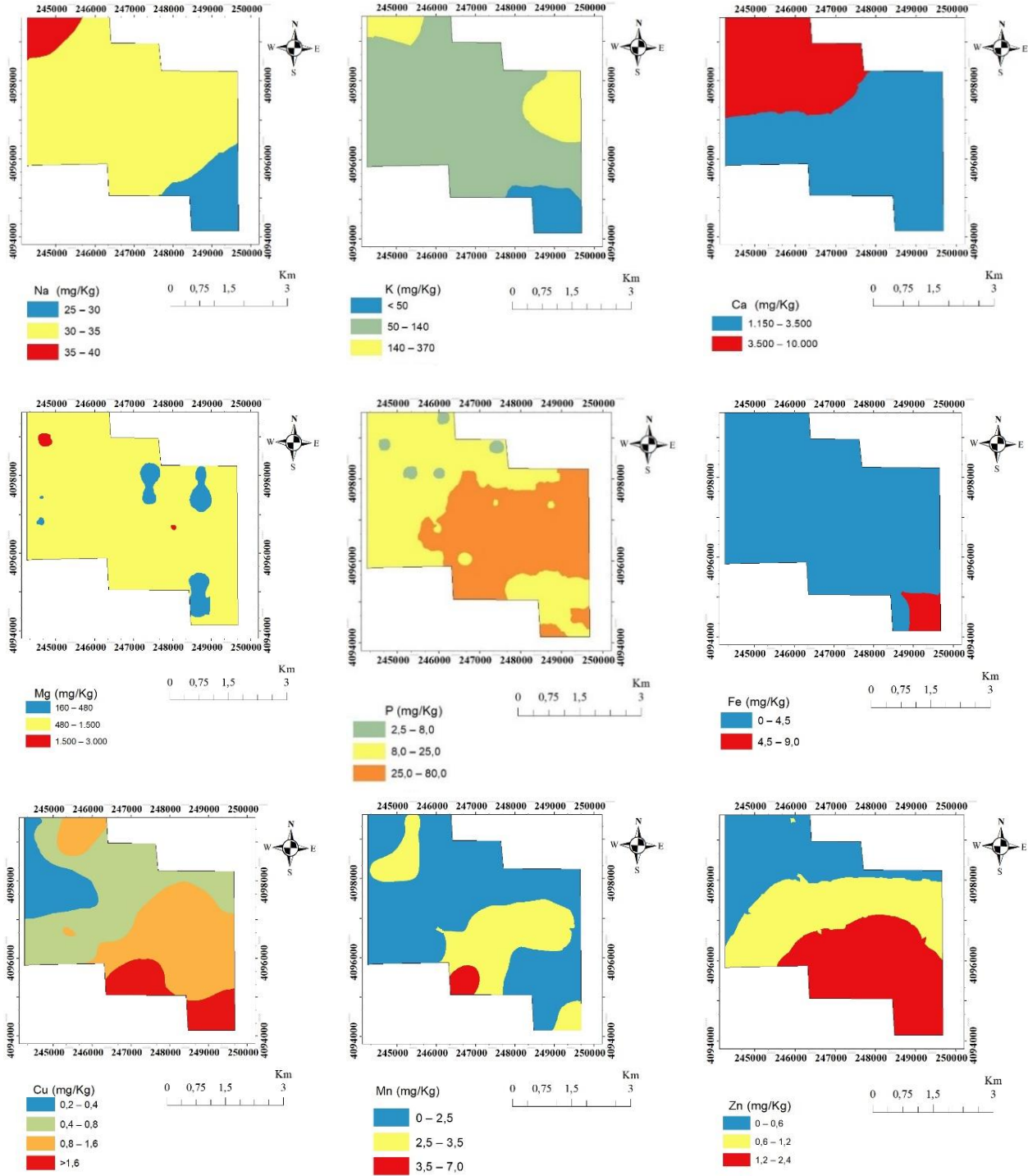
Bu çalışmanın amacı turuncgil yetiştiriciliğinin yoğun olarak gerçekleştirildiği Erzin ovasının bir bölümündeki toprakların besin element içeriklerini belirleyerek mekânsal dağılımlarını incelemektedir.

Toprakların sadece %20'sinde K ve yaklaşık % 64'ünde P yeterli düzeyde iken, tamamında Ca ve Mg içeriklerinin yeterli ve fazla düzeyde olduğu belirlenmiştir. Toprakların yaklaşık %70'inde Cu, %10'unda Mn, %23'ünde Zn yeterli düzeyde iken, tamamında Fe içeriğinin yetersiz (az ve orta) düzeyde olduğu saptanmıştır.

Bu sonuçlar toprakların önemli bir kısmında potasyum, demir, bakır ve mangan; belirli bir kısmında ise fosfor yetersizliği sorunu olduğunu göstermektedir. Bu nedenle bu besin elementlerinin eksik olduğu yerlere, ilgili elementi içeren gübre uygulanmalıdır. Ancak bunların hangi oranlarda verileceği daha sonra yapılacak detaylı çalışmalarla belirlenmelidir.

Toprakların besin elementleri içerisinde varyasyon katsayısı (VK) en düşük olanı Na (%12.34) iken, en yüksek VK değeri ise K (potasyum) (%129.83) değerlerinde belirlenmiştir. Bu durum besin elementleri içerisinde en çok homojen dağılım gösterenin Na; en az homojenlik gösterenin ise K (potasyum) olduğunu göstermektedir. Bu durumu yatıklık değerlerini de açıklamaktadır. Yatıklık değerleri ne kadar küçük çıkarsa araştırma alanındaki dağılımın da o kadar homojen olduğu anlaşılmaktadır. VK değeri yüksek olan K (potasyum) içeriğinin aynı zamanda yatıklık değerlerinin de yüksek olduğu görülmektedir.

Parametreler için belirlenen etki aralığı (A₀) değerleri 603-7110 m gibi çok geniş sınırlar içinde değişmiştir. Etki aralığı örnekleme noktaları arasındaki otokorelasyonun etkili olabildiği maksimum uzaklığı belirtmektedir. Etki aralığı değerleri aynı zamanda o özellik için alınması gereken maksimum örnekleme aralığını da göstermektedir. Örneğin magnezyum içeriği için bu değer 603 m olarak hesaplanmıştır. Bu değer, Mg analizi için yapılacak bir örneklemede maksimum örnekleme aralıklarının 603 m olması gerektiğini belirtmektedir. Bu değer; Mg ve P için oldukça düşük (603 ve 642 m) iken, diğer parametreler için daha yüksektir (2875-7100 m). Burada maksimum örnekleme aralığını belirleyecek olan en düşük A₀ (603 m) değeridir. Bundan sonra bölgede yapılacak besin elementleri ile ilgili çalışmalarda, ya en düşük A₀ değerine göre, ya da iki farklı örnekleme aralığı belirlenerek örnek alınmalıdır.



Şekil 3. Besin element içeriklerinin çalışma alanındaki dağılım haritaları
(Distribution maps of nutrient content in the study area)

Teşekkür (Acknowledgement)

Bu makale, Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinatörlüğü tarafından 21.YL.048 nolu proje ile desteklenen Mehmet Selçuk COŞAR'ın Yüksek Lisans tezinden hazırlanmıştır.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

Kaynaklar (References)

- Ağca, N., Kan, M.K., 2022. Trabzon Akçaabat Yöresi Fındık Bahçesi Topraklarının Temel Özellikleri ve Bazı Besin Element İçeriklerinin Belirlenmesi. Proceedings of 5th International Eurasian Conference on Biological and Chemical Sciences (November 23-25, 2022). 1481-1486. Ankara.
- Anonim, 2016. Rakamlarla Hatay Tarım Kimliği. Hatay Valiliği İl Gıda Tarım ve Hayvancılık Müdürlüğü.
- Anonim, 2023. Hatay İli İklim Verileri. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=HATAY> (Erişim tarihi: 14.01.2023).
- Aşkın, T., Türkmen, F., Tarakçıoğlu, C., Kulaç, S., Aygün S., 2017. DTPA-Extractable Micronutrients: A Geostatistical Study From Ordu, Turkey. Eurasian J Soil Sci, 6 (2),154 – 160.
- Aşkıner, E.D., 2022. Dörtüyl Ovası Topraklarının Verimlilik İle İlgili Özelliklerinin Yersel Dağılımının Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Jeostatistiksel Yöntemler Kullanılarak Haritalanması. HMKÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı(Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi).
- Benice A., Ağca N., 2022. Arsuz Ovası Topraklarının Tuzluluk ile İlgili Özelliklerinin İncelenmesi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 5 (3), 1419-1437.
- Bhunia, G.S., Shit, P.K., Chattopadhyay, R., 2018. Assessment of Spatial Variability of Soil Properties Using Geostatistical Approach of Lateritic Soil (West Bengal, India). Annals of Agrarian Science, 16, 436-443.
- Cambardella, C.A, Moorman, T.B, Parkin, T.B, Karlen, D.L, Novak, J.M, Turco, R.F, Konopka, A.E., 1994. Field-Scale Variability of Soil Properties in Central Iowa Soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 58, 1501-1511.
- Demircioğlu, M., Ağca, N., 2022. Arsuz Ovası Topraklarının Temel Özelliklerinin Yersel Dağılımının Jeostatistiksel Yöntemlerle Belirlenmesi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 5(3), 1494-1513.
- Denton, O.A., Aduramigba-Modupe, V.O., Ojo, A.O., Adeyolu, O.D., Are, K.S., Adelana, A.O., Oyedele, A.O., Adetayo, A.O., Oke, A.O., 2017. Assessment of Spatial Variability and Mapping of Soil Properties for Sustainable Agricultural Production Using Geographic Information System Techniques (GIS). Cogent Food & Agriculture, 3,1, 1279366, DOI:10.1080/23311932.2017.1279366
- Doğan, K., Ağca, N., Keçecioglu, F., Benice, A., Tek, T., 2020. Spatial Distribution of Microbial Activities in Arsuz Plain Soils (Hatay, Turkey). Arabian Journal of Geosciences, 13, 581.
- Doyuran, V., 1982. Erzin ve Dörtüyl Ovalarının Jeolojik ve Hidrojeolojik Özellikleri. Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 25, 151 – 160.
- Erdal, İ., Doğan, A., 2018. Burdur İli Tahıl Yetiştirilen Toprakların Verimlilik Durumlarının Belirlenmesi. Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi, 6 (1), 39-45.
- Everest, T., Özcan, H., 2018. Toprak Verimliliğinin Değerlendirilmesinde Pedo-Jeolojik Yaklaşım. Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi, 5 (4), 589-603.
- FAO, 1990. Micronutrient, Assesment at the Country Level. An International Study (M. Sillanpaa, Editör). FAO Soils Bulletin 63. Published by FAO. 128 P. Roma, Italy.
- Gamma Design, 2008. Geostatistics for the Environmental Sciences. Plainwell, Michigan, USA.
- Isaaks, H.E., Srivastava, R.M., 1989. Applied Geostatistics. Oxford University Press, Inc. 561 p.
- Leena, H.U., Premasudha, B.G., Panneerselvam, S., Basavaraja, P.K., 2021. Pedometric Mapping for Soil Fertility Management: A Case Study. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 20 (2),128-135.
- Lindsay, W.L., Norwell, W.A., 1978. Development of DTPA Soil Test for Zinc, Iron, Manganese and Copper. Soil Science Society America Journal, 42, 421-428.
- Liu, D., Wang, Z., Zhang, B., Song, K., Li, X., Li, J., Li, F., Duan H., 2006. Spatial Distribution of Soil Organic Carbon and Analysis of Related factors in Croplands of the Black Soil Region. Northeast China. Agric. Ecosyst. Environ., 113, 73-81.
- Long, L., Liu, Y., Chen, X.,Guo, J., Li, X., Guo, Y., Zhang, X., Lei, S., 2022. Analysis of Spatial Variability and Influencing Factors of Soil Nutrients in Western China: A Case Study of the Daliuta Mining Area. Sustainability, 14, 2793. <https://doi.org/10.3390/su14052793>
- Olsen, S.R., Cole, V., Watanabe, F.S., Dean, L.A., 1954. Estimation of Available Phosphorus in Soil by Extraction with Sodium Bicarbonate, USDA.
- Özdemir, Ş., Günal, H., Acir, N., Arslan, H., Özaydın, Kahyaoğlu, S.E., Açar, A.M., 2019. Çerikli Sulama Sahasında Toprak Tuzluluğunun Tahmininde Deterministik ve Stokastik Enterpolasyon Yöntemlerinin Kullanımı. Topraksu Dergisi, 8 (1), 55-67.
- Özden, N., Uslu, İ., Sökmen, Ö., Metinoğlu, F., 2020. İzmir İli Tarım Topraklarının Verimlilik Durumları ile Mikroelement Kapsamlarının Belirlenerek Haritalanması. Toprak Su Dergisi, Özel Sayı, 31- 40.
- Özkan, C.F., Demirtaş E.İ., Arpacioğlu A.E., Asri F.Ö., Arı N., 2009. Antalya Bölgesinde Elma Yetiştirilen Toprakların Verimlilik Durumlarının İncelenmesi. Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi, 2 (2), 95-99.
- Öztaş, T., 1995. Jeostatistiğin toprak bilimindeki önemi ve uygulanaışı. İ. Akalan Toprak ve Çevre Sempozyumu Bildiriler kitabı. I:271-280, Ankara.
- Özyazıcı, M.A., Dengiz, O., Sağlam, M., Erkoçak, A., Türkmen, F., 2017. Mapping and Assessment-Based Modeling of Soil Fertility Differences in The Central and Eastern Parts of the Black Sea Region Using GIS and Geostatistical Approaches. Arab J Geosci, 10, 45.
- Paris, J.O., Gontijo, I., Partelli, F.L, Facco, A.G., 2020. Variability and Spatial Correlation of Soil Micronutrients and Organic Matter with Macadamia Nut Production. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental, 24 (1), 31-36.
- Peter-Jerome, H., Adewopo, J.B., Kamara, A.Y., Aliyu, K.T., Dawaki, M.U., 2022. Assessing the Spatial Variability of Soil Properties to Delineate Nutrient Management Zones in Smallholder Maize-Based System of Nigeria. Hindawi. Applied and Environmental Soil Science, (Published 20 May 2022). <https://doi.org/10.1155/2022/5111635>
- Richards, L.A., 1954. Diagnosis and Improvement of Saline Anad Alkali Soils. USDA Agriculture Handbook. No: 60.

- Saygın, F., Gürsoy, F.E., Demirdağ, İ., Dengiz, O., 2017. Çataklı Çayı Havzası Doğu Yakasında Çay Tarımı Yapılan Toprakların Fiziksel, Kimyasal ve Verimlilik Özelliklerinin Belirlenmesi. *Turk J Agric Res*, 4(2), 143-154.
- Selmy, S., El-Aziz, S.A., El-Desoky, A., El-Sayed, M., 2022. Characterizing, Predicting, and Mapping of Soil Spatial Variability in Gharb El-Mawhoub Area of Dakhla Oasis Using Geostatistics and GIS Approaches. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 21, 383-396.
- Srinivasan, R., Kumar, S.B. N., Singh, S. K., 2022. Mapping of Soil Nutrient Variability and Delineating Site-Specific Management Zones Using Fuzzy Clustering Analysis in Eastern Coastal Region, India. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 50 (3),533-547. <https://doi.org/10.1007/s12524-021-01473-9>
- Tagore, G. S., Sethy, S. K., Kulhare, P. S., Sharma, G.D., 2023. Characterization of Spatial Variability of Micro Nutrients in Soils: Classical Vs. Geo-Statistical Approach. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 54 (4), 472-487. <https://doi.org/10.1080/00103624.2022.2118292>.
- Töreyan, G., Özdemir, İ., Kurt, T., 2010. Arcgis 10 Desktop uygulama dokümanı. İşlem Coğrafi Bilgi Sistemleri Mühendislik ve Eğitim Ltd. Şti. 208 s. Ankara.
- Trujillo-González, J.M., Torres-Mora, M.A., Ballesta, R.J., Brevik, E.C., 2022. Spatial Variability of the Physicochemical Properties of Acidic Soils Along an Altitudinal Gradient in Colombia. *Environmental Earth Sciences*, 81,108.
- Tüik, 2023. <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=tarim-111&dil=1> (Erişim tarihi: 21.06.2023).
- Yağmur, B., Okur, B., 2018. Ege bölgesi Salihli İlçesi bağ plantasyonlarının verimlilik durumları ve ağır metal içerikleri. *Tekirdağ Zir. Fak. Dergisi*, 15(01), 111-122.
- Zapranova, P., Hristozova, G., 2019. DTPA-Extractable Micronutrients in Soils of Southern Bulgaria. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 25 (6), 1233-1238.
- Zeraatpisheh, M., Bottega, E.L., Bakhshandeh, E., Owliaie, H.R., Taghizadeh-Mehrjardi, R., Kerry, R., Scholten, T., Xu, M., 2022. Spatial variability of soil quality within management zones: homogeneity and purity of delineated zones. *Catena*, 209, 105835.
- Zhou Z., Zhang, G., Yan, M., Wang, J., 2012. Spatial Variability of the Shallow Groundwater Level and Its Chemistry Characteristics in The Low Plain Around the Bohai Sea, North China. *Environ Monit Assess*, 184, 3697-3710doi:10.1007/s10661-011-2217-1.



FORCE BASED IMPEDANCE CONTROL OF 5-BAR PARALLEL ROBOT MANIPULATOR

Eray YILMAZLAR*

Kırklareli University, Technical Sciences Vocational School, Electronics and Automation, Kırklareli, Türkiye

Keywords

*Impedance Control,
Parallel Robot,
Damping-Stiffness Analysis,
Robot Interaction.*

Abstract

The interaction of robots with the environment is increasing in many sectors. In particular, position and force-dependent interactions are frequently used in sensitive applications. In this interaction control, impedance control method answer the need. The parallel robot manipulator is one of the models that is widely used in this field and constitutes the basic of many robot designs. In this study, an exemplary 5-limb robot manipulator is designed. Position change according to the amount of load applied on this manipulator was realized with impedance control. Force amount measurement was applied using loadcell. The position change was calculated with the forward kinematic calculations of the manipulator. This calculation and control process was realized on the Arduino Mega embedded system board. With this experiment application study, the behaviour analysis of the robot manipulator was examined according to the stiffness and damping coefficients that affect the impedance control, and the ideal coefficients for the designed manipulator were determined.

5-BAR PARALEL ROBOT MANİPÜLATÖRÜNÜN KUVVET BAZLI EMPEDEANS KONTROLÜ

Anahtar Kelimeler

*Empedans Kontrolü,
Paralel Robot Manipülatör,
Sönümleme-Sertlik Analizi,
Robot Etkileşimi.*

Öz

Robotların çevre ile etkileşimleri birçok sektörde yaygınlaşarak artmaktadır. Özellikle Pozisyon ve kuvvete bağlı etkileşimler hassas uygulamalarda sıklıkla kullanılmaktadır. Bu etkileşim kontrolünde empedans kontrolü ihtiyacı karşılanmaktadır. Paralel robot manipülatörü ise bu alanda yaygın kullanılan ve birçok robot tasarımının temel örneklerini oluşturan modellerden biridir. Bu çalışmada örnek bir 5 uzuvlu robot manipülatörü tasarlanmıştır. Bu manipülatörün üzerinde uygulanan kuvvet miktarına göre pozisyon değişimi empedans kontrolü ile yapılmıştır. Kuvvet miktarı ölçümü yük hücresi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Pozisyon değişimi ise manipülatörün ileri kinematik hesaplamaları ile hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar ve kontrol işlemi gerçek zamanlı olarak Arduino Mega gömülü sistem kartı üzerinde yapılmıştır. Bu uygulama çalışması ile empedans kontrolünü etkileyen sertlik ve sönümleme katsayılarına göre robot manipülatörünün davranış analizi incelenmiş ve tasarlanan manipülatör için ideal katsayılar belirlenmiştir.

Cite / Alıntı

Yılmazlar, E., (2023). Force Based Impedance Control Of 5-Bar Parallel Robot Manipulator, Journal of Engineering Sciences and Design, 11(4), 1452-1460.

Yazar Kimliği /Author ID (ORCID Number)

E. Yılmazlar, 0000-0002-0515-6712

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	22.05.2023
Revizyon Tarihi / Revision Date	02.10.2023
Kabul Tarihi / Accepted Date	06.10.2023
Yayın Tarihi / Published Date	30.12.2023

* İlgili yazar / Corresponding author: eray.yilmazlar@klu.edu.tr, +90-288-214 18 45

FORCE BASED IMPEDANCE CONTROL AND ANALYSIS OF 5-BAR PARALLEL ROBOT MANIPULATOR

Eray Yılmazlar†

Kırklareli University, Technical Sciences Vocational School, Electronics and Automation, Kırklareli, Türkiye

Highlights

- Force-based impedance control of the parallel manipulator robot.
- Robot motion control in robot human-environment interaction.
- Control coefficients in impedance control.

Graphical Abstract

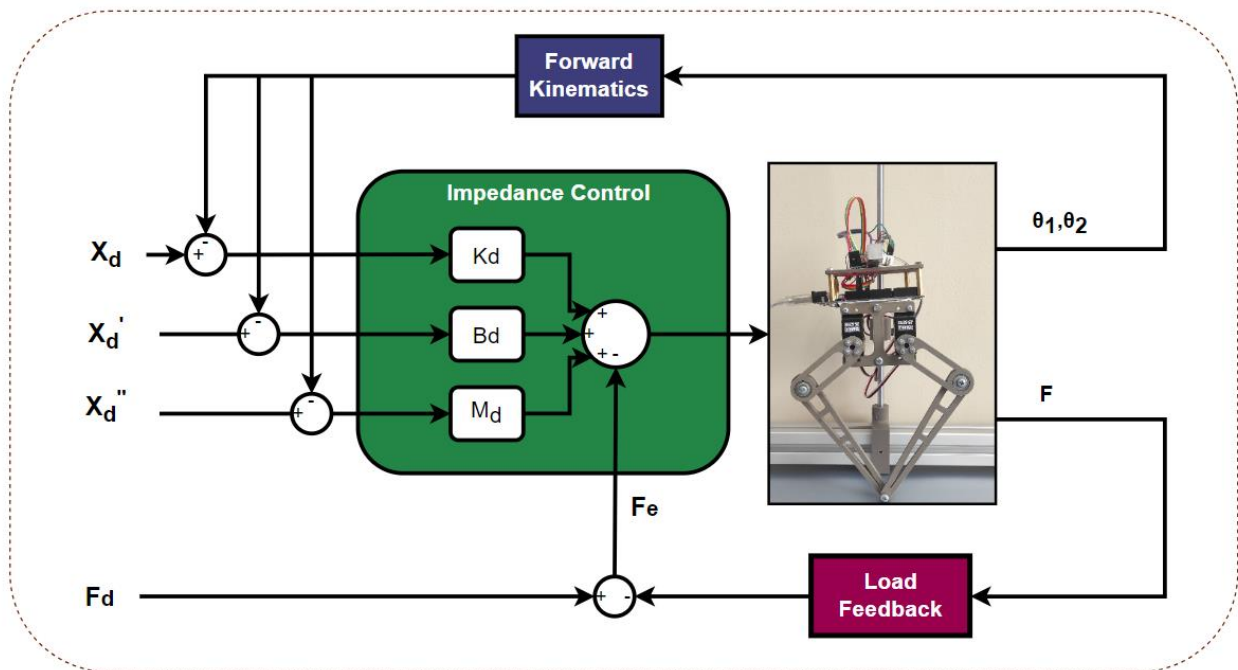


Figure. Force dependent parallel manipulator impedance control block diagram

Purpose and Scope

The main purpose of this study is to realize the environmental interaction of the 5-bar parallel robot manipulator with the impedance control method and to determine the ideal impedance control coefficients.

Design/methodology/approach

In order to reach the goal in the study, firstly, the experimental setup was designed. An impedance control algorithm based on the manipulator model was created using Arduino Mega. Applications were made at different impedance coefficients by applying loads on the Loadcell. The ideal stiffness and damping coefficients were determined by analyzing the data collected in real-time.

Findings

The ideal impedance control coefficients were determined according to the amount of force that the designed manipulator can be exposed to and the analysis of the behaviour of the manipulator in interaction with the environment.

Originality

This study presents an exemplary model for evaluating the importance of impedance control, real-time design, and the effects of impedance control coefficients used in many robot designs that interact with the environment.

† Corresponding author: eray.yilmazlar@klu.edu.tr, +90-0288-214 18 45

1. Introduction

The increase in the capacity of robots and the spread of their use are constantly increasing. Simultaneously, the contact of robots with their environment is increasing. The interaction between the objects and the robot must be controlled in a balanced. If this process is not controlled, damage to the robot or object may occur due to contact. Impedance control is one of the commonly used methods in this control process. In impedance control, the contact force or distance is measured and controlled. And thereby, contact damage is avoided. In other control methods, the command requested from the robot is realized regardless of position, movement, or force value. It does not take into account the problems that may occur in the object opposite (Buchli et al. 2011; Song, Yu, and Zhang 2017).

Impedance control has many advantages, some of which are: it can be used in many sectors in interaction with the environment and humans in the robotic field, the sensitivity can be adjusted according to the material to be contacted, more reliable force and torque movements instead of old-style spring-loader mechanical control methods and it can be used with other control theories. (Ba and Yu 2018; Xu et al. 2020) Disadvantages of impedance control is that the values of the damping and stiffness coefficients used must comply with the limits and performance of the controlled unit otherwise instability may occur in applications where high damping is required. The model dynamics of the unit to be compatible for impedance control and should not be affected by external factors. Sensitive sensors are required for torque and force feedback. With these advantages it provides impedance control, it is used in many areas today (Abu-dakka and Saveriano 2020). Examples of areas where impedance control is used are precision movement and handling, gripper mechanisms, assembly processes, and surgical procedures (Jiao et al. 2022; Ji et al. 2021; Palma, Seweryn, and Rybus 2022).

The advantages of the impedance control method have been preferred in order to prevent damage to both the robot mechanism and the object in the contact of a sample robot leg with the environment and to provide adjustable force transfer between them. In this study, it is aimed to use position and force-dependent impedance control as a hybrid. In order to realize this application, single leg of the prototype robot was designed and an experimental setup was created. In this study, in addition to similar studies, the behavior of the robot leg mechanism according to different force loads and different stiffness and damping coefficients was analyzed and contributed to the determination of the ideal coefficients for the application.

2. Material and Method

Impedance control is a type of force or position-dependent control. In this study, a force-based control type is based. Impedance control dynamically adjusts the relationship between robot motion and contact force through a mechanical impedance. The impedance control model is expressed by equation 1 (Hogan 1985).

$$F = M(\ddot{\theta} - \ddot{\theta}_d) + B(\dot{\theta} - \dot{\theta}_d) + K(\theta - \theta_d) \quad (1)$$

In the equation, the impedance parameters M , B , K represent the inertia matrix, damping matrix and stiffness matrix, respectively. θ stands for current position, θ_d stands for targeted position. In equation 2 The force applied to the robot manipulator system is F , the desired force value is F_d , and the force difference F_e occurs between.

$$F_e = F_d - F \quad (2)$$

In impedance control, stiffness and damping parameters are defined to control how the robot interacts with its environment. This interaction occurs with the displacement of the robot's limbs in the control process. With displacement, the force applied to the robot's limb reaches the reference value. And thus, the force applied to the robot manipulator is adjusted to reference level and equilibrium is achieved in contact with the object.

The manipulator with 5 connectors designed in figure 1(a) is shown. The five-link parallel manipulator appears in many examples in robotic applications with different designs. It represents the single leg of the robot, one of the robotic design examples. 5 bar parallel manipulators have a symmetrical structure. P_{xy} is the end-effector of the parallel manipulators. The manipulator has the ability to with the servo motor at θ_1 and θ_2 as active joints, and θ_3 and θ_4 as passive joints. The manipulator moves vertically on the slide shaft axis. (Lara-molina and Takano 2018; Duperret and Koditschek 2015; He et al. 2021) Forward kinematic solutions are used to calculate the coordinates (x,y) of point P . These solutions appear in equation 3-6. Active changes at θ_1 and θ_2 cause the movement of the l limbs and change the position of the p point (Lou et al. 2004; Le, Kang, and Doan 2013).

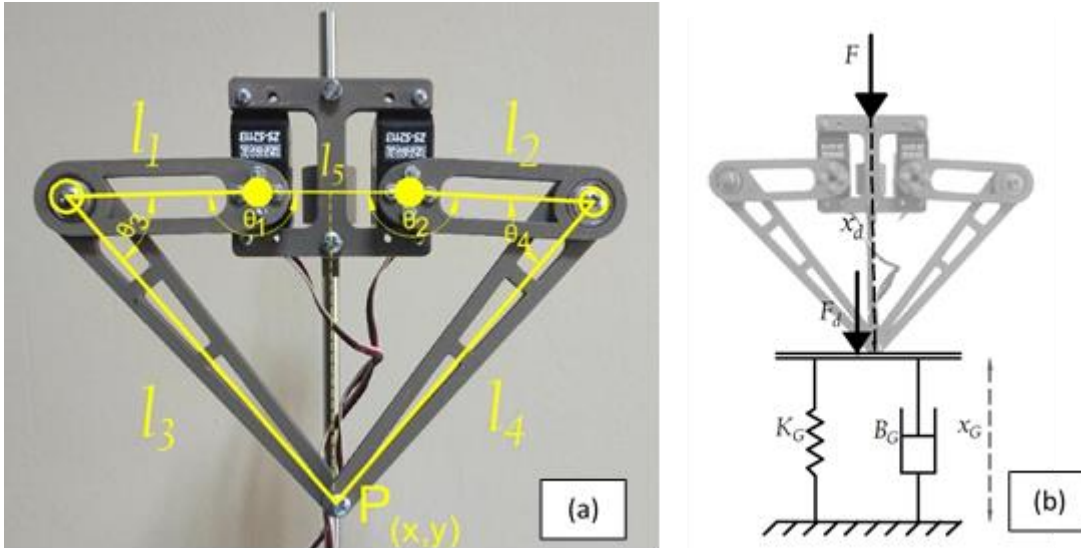


Figure 1. (a) The 5-bar planar parallel robot and (b) schematic of robot spring-damper system

$$x = l_1 \cos \theta_1 + l_3 \cos \theta_3 - l_5/2 \tag{3}$$

$$x = l_2 \cos \theta_2 + l_4 \cos \theta_4 + l_5/2 \tag{4}$$

$$y = l_1 \sin \theta_1 + l_3 \sin \theta_3 \tag{5}$$

$$y = l_2 \sin \theta_2 + l_4 \sin \theta_4 \tag{6}$$

In figure 1b, the spring-damper model of the surface contacted by the 5 bar robot is shown. In the model, B_G and K_G represent the ground spring and damper coefficients. x_G represents the ground height and there is also the independent mass M_G . In force-based Impedance control, the F force applied to the robot is requested to be transmitted to the ground at the desired reference (F_d). For this purpose, the robot manipulator changes its position with the change of angle (θ_1, θ_2). When there is an interaction originating from the surface, the equation shown in equation 7 is used to reach the desired force value F_d . With this equation, the difference force F_e sensed by the robot manipulator is gradually brought to the reference value F_d with the impedance control.

$$F_d = M_G \ddot{x}_G + B_G \dot{x}_G + K_G x_G = M(\ddot{\theta} - \ddot{\theta}_d) + B(\dot{\theta} - \dot{\theta}_d) + K(\theta - \theta_d) + F_e \tag{7}$$

In impedance control, the inertia matrix M shown in the equation is explained by the equation 8. Calculations of matrix elements between 8-13 equations are shown. In equations, the j_1, j_2, j_3, j_4 appearing represent the inertia matrices of the connections, m represents limb mass and l represents limb size. M inertia, B dumping, K stiffness matrices in equation 8 consist of 4 rows and 4 columns since the manipulator in figure 2 has 4 moving joints (Rigatos and Abbaszadeh 2022).

There are 3 basic parameters in impedance control. The first of these parameters is the inertia matrix (M). M varies according to the level of force applied to the unit and the dynamics of the controlled unit. The other 2 parameters are stiffness and damping matrices. These two parameters can be changed according to the user's preference. High stiffness coefficient is preferred in applications where the force applied to the unit is to be transmitted to the surface or the robot remains stable. High damping coefficient is preferred when it is desired not to transmit the force to the surface and to be damped by the unit. The motion behavior of the robot unit is consist on according to the values of the stiffness and damping coefficients.

$$M(\theta) = \begin{pmatrix} m_{11} & 0 & m_{13} & 0 \\ 0 & m_{22} & 0 & m_{24} \\ m_{31} & 0 & m_{33} & 0 \\ 0 & m_{42} & 0 & m_{44} \end{pmatrix} \tag{8}$$

$$m_{11} = m_1 \left(\frac{l_1}{2}\right)^2 + m_3 \left(l_1^2 + \left(\frac{l_3}{2}\right)^2 + 2l_1 \frac{l_3}{2} \cos(\theta_3) \right) + j_1 + j_3 \tag{9}$$

$$m_{13} = m_{31} = m_3 \left(\left(\frac{l_3}{2} \right)^2 + l_1 \frac{l_3}{2} \cos(\theta_3) \right) + j_3 \tag{10}$$

$$m_{22} = m_2 \left(\frac{l_2}{2} \right)^2 + m_4 \left(l_2^2 + \left(\frac{l_4}{2} \right)^2 + 2l_2 \frac{l_4}{2} \cos(\theta_4) \right) + j_2 + j_4 \tag{11}$$

$$m_{24} = m_{42} = m_4 \left(\left(\frac{l_4}{2} \right)^2 + l_2 \frac{l_4}{2} \cos(\theta_4) \right) + j_4 \tag{12}$$

$$m_{33} = m_3 \left(\frac{l_3}{2} \right)^2 + j_3 \qquad m_{44} = m_4 \left(\frac{l_4}{2} \right)^2 + j_4 \tag{13}$$

3. Impedance Control

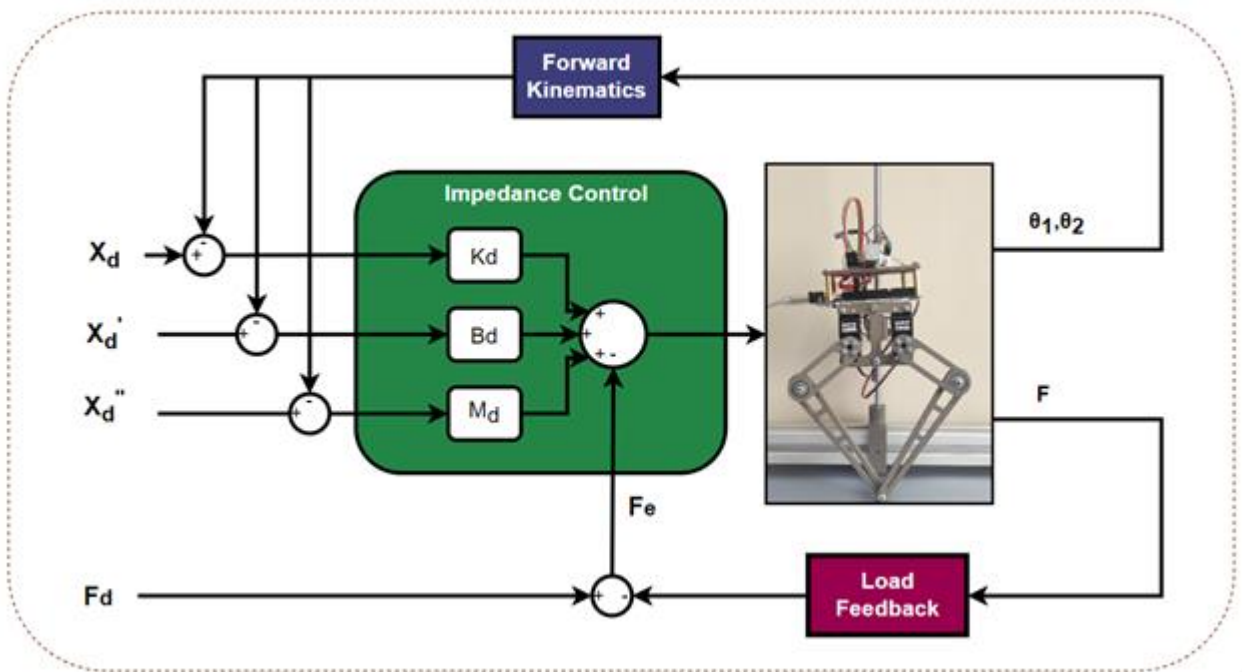


Figure 2. Force dependent parallel manipulator impedance control block diagram

The control diagram in figure 2 shows the inputs of robot height and force value to be applied to the manipulator. These inputs were determined as reference. These values are calculated during the impedance control process and transmitted to the manipulator motors. The movement of the robot occurs with the change of motor angles. This motion turns into height feedback with forward kinematics calculation and is included in the impedance control process. The force control process is calculated by comparing the reference value with the force applied on the robot manipulator. This feedback process was realized with a load cell and included in the control process. These operations are calculated and controlled using an 8-bit Atmega2560 microcontroller (Campus 2021; Zhan-xi et al. 2021; Arevalo and Garcia 2012).

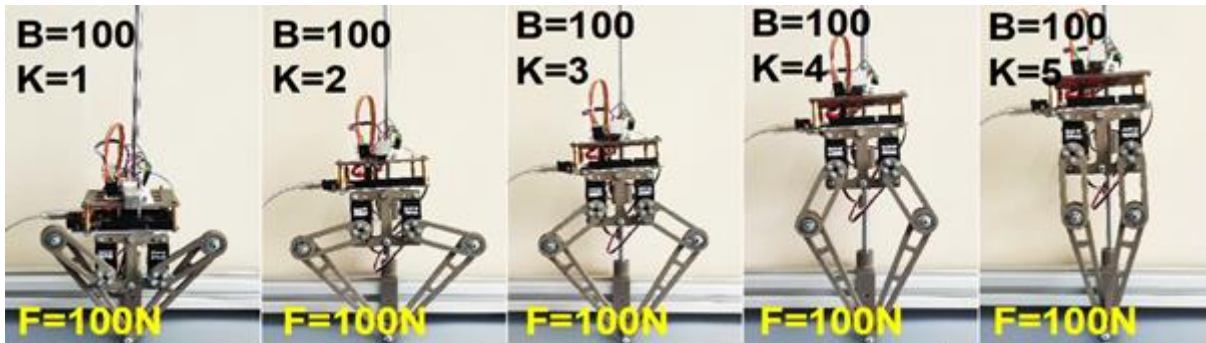
Reference inputs and outputs appear in algorithm 1. When the basic loop is examined, the error \$E\$ is calculated depending on the impedance control as long as the force is applied to the manipulator. This error value is calculated with the motor angles and rearranges the \$x\$ and \$y\$ positions (Table 1).

Table 1. Impedance control coding algorithm**Algorithm 1:** Impedance Control

Input: F_d, x_d //Reference Force and Position
Output: θ_1, θ_2, F //Motor angle and Force feedback
while $F \neq 0$ **do**
 $x = l_1 \cos \theta_1 + l_3 \cos \theta_3 - l_5 / 2$ //Forward kinematic position calculation
 $y = l_1 \sin \theta_2 + l_3 \sin \theta_4$
 $F_e = F_d - F$ //Force feedback measurement
 $E = M(\ddot{\theta} - \ddot{\theta}_d) + B(\dot{\theta} - \dot{\theta}_d) + K(\theta - \theta_d) + F$ //Impedance error
 $\theta_1 = \theta_1 + E$ $\theta_2 = \theta_2 + E$ //Error motor angle calculation
End

3.1 Stiffness and Damping Analysis

Analysis figure 3 shows the behaviour of the manipulator according to 5 different stiffness coefficients and 100 damping coefficient value according to 100N load. In these experiments performed according to real-time impedance control according to Algorithm 1, the response of the manipulator was examined. In addition to the examples in the figure, experiments were carried out to determine the ideal impedance coefficients of the designed manipulator. The coefficients defined for these experiments and the length of the manipulator according to the applied force are shown graphically. For the behaviour analysis of the designed manipulator, 5 different stiffness coefficients and 11 damping coefficients between 1-100 were determined. At these coefficients values, forces of 10,20,40,60,80,100 N values were applied to the load cell on the robot. As a result of the applied forces, the reactions of the robot manipulator to change in length were measured in real-time and shown on the graph.

**Figure 3.** The 5-bar planar parallel robot stiffness analysis

After the stiffness analysis, experiments realized stiffness and damping coefficient analysis. The height curves of the robot are shown in figure 4. Figure 4 are examined; it is seen that the height of the robot manipulator changes according to the gradually changing stiffness and damping values in the different forces. The purpose of the graphics is to observe how the robot behaves in which parameters and to determine the ideal impedance coefficients according to the force to be applied to the robot. When the graphs were examined, it was shown that the robot reacted very little to the 10N and 20N forces and almost ignored the applied forces. When the applied force value is 40N and 60N, the shortening of the robot manipulator stature is observed in the stiffness coefficients of 1 and 2 and the impedance control is active. When the stiffness coefficients are between 3-5, no significant change was observed in the manipulator length. When the force value is 80N and 100N, the robot is completely in its shortest position in the 1st stiffness coefficient. If the stiffness coefficient is between 2-4, the robot manipulator has effective impedance control depending on the force applied to it. When the stiffness coefficient is 5, no movement was observed in the robot manipulator height.

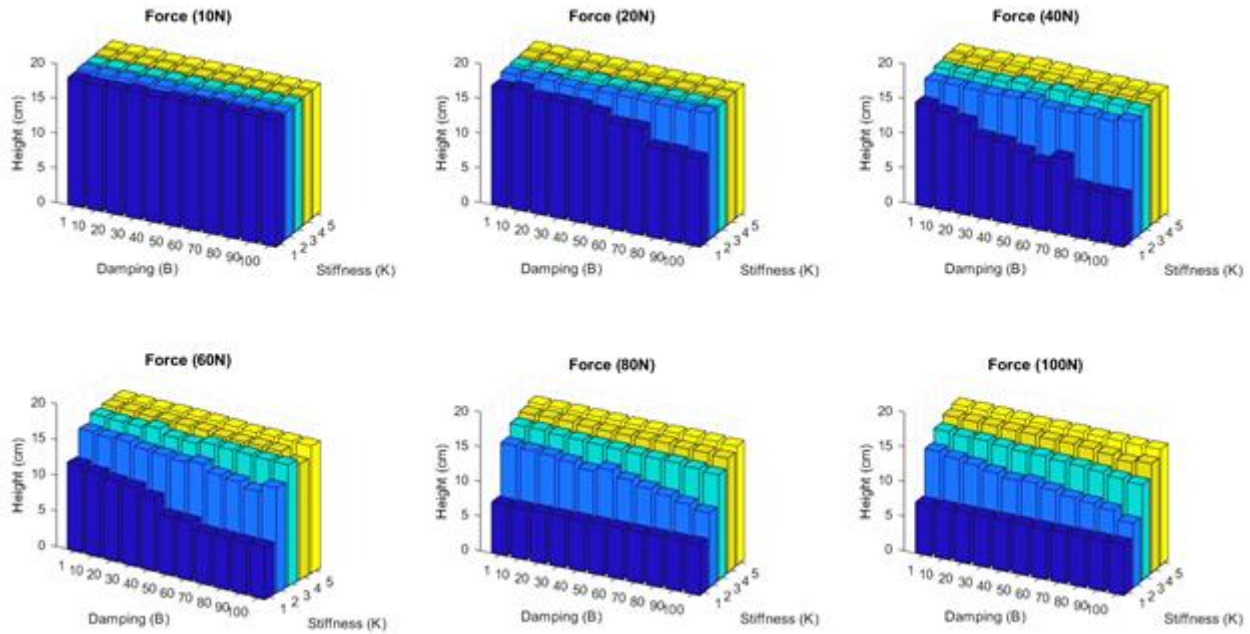


Figure 4. The 5-bar planar parallel robot height damping stiffness graphics

According to the graph of figure 4, a stiffness coefficient of 2 and damping coefficient of 40 seem ideal for impedance control at forces of 60N and above for our robot manipulator design. After defining the stiffness coefficient as 2, data were collected to determine the amount of impedance control error at different damping and force values. These data are shown in figure 5 as the amount of error in the impedance control and the percentage of displacement.

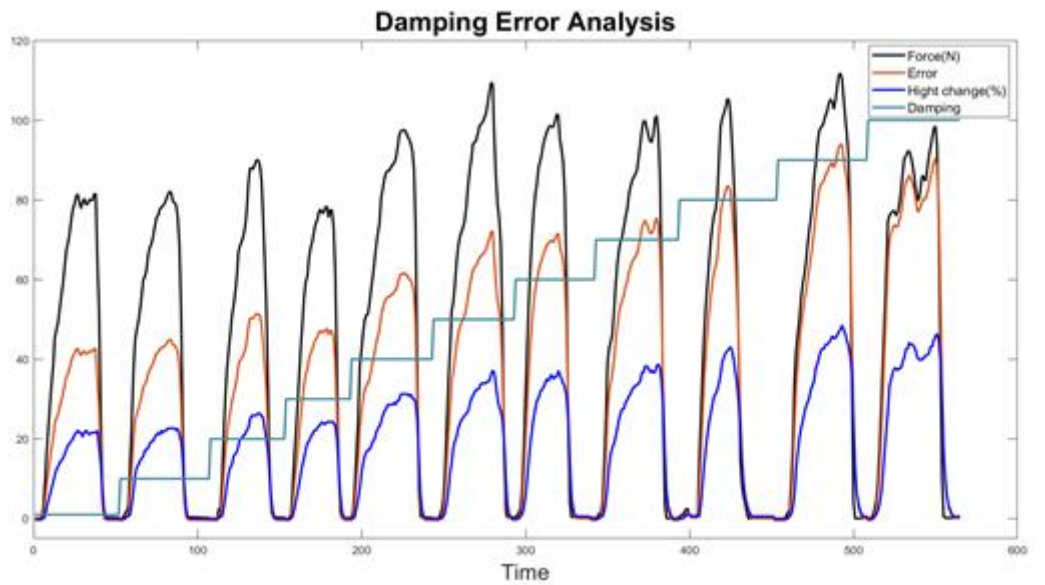


Figure 5. The 5-bar planar parallel robot impedance control damping error analysis

With the determination of stiffness and damping coefficients of 2 and 40, force-dependent damping analysis was performed to examine the analysis in more detail. In figure 5, the damping value changes gradually from 1 to 100. Forces ranging from 0N to 100N were applied on the manipulator and the percent height changes of the manipulator were measured and calculated. When the graph is examined, the error value increases as the damping value increases according to the applied force. When the error levels in the figure are examined, the error level is small when the damping coefficient is between 1 and 50. When damping coefficient values are 90-100, it is seen that the error level increases significantly and the robot manipulator moves at high rate.

4. Result and Discussion

Impedance control is characterized by three basic parameter coefficients: the inertia matrix, stiffness, and damping. The inertia matrix is constantly changing according to the model, motion and error feedback of the robot. On the other hand, the stiffness and damping coefficients are determined by the user. It is preferred at high values in applications where the stiffness coefficient increases the durability of the designed system and the movement is desired to remain constant. The damping coefficient affects the amount of flex in motion. It has been observed that at high damping coefficients, the motion changes of the robots increase. In the determination of these coefficients, it is necessary to determine the amount of interaction between the robot and its environment or the security measures. Due to the power limitation of the servo motors used in our design, 60N was preferred in the force value. Impedance coefficients set to for the stiffness coefficient as 2 and the damping coefficient as 40. These coefficients, it has been observed that the manipulator exhibits ideal behavior according to its own model.

One of the advantages of impedance control in this study is to prevent the motor equipment that provides the motion process from being damaged due to excessive force. By determining the ideal stiffness and damping coefficients according to their design and use, robots will be made more resistant to external forces. Another advantage of impedance control is that it safely responds to interactions with the environment in robot movements. Especially in applications where sensitive interaction is required, more precise control and contact can be achieved with low stiffness and high damping. In our design, it takes place depending on the force control. Force control can be performed with distance control according to the ground or with a current sensor according to the power of the robot motors in different application types. In this study, the implementation of the impedance control of a sample robot manipulator and the analysis of the impedance coefficients were carried out. In addition, it is aimed that this study will be an exemplary reference and contribute to similar applications.

Similar to impedance control, Proportional-Derivative (PD)- Gravity control of motion of robot manipulators is also a widely used method. In this method, the motion of the robot manipulator is controlled by addition the effect of gravity. It is controlled by measuring the angle and acceleration of the manipulator joints. In this method, the movement of the manipulator position against external forces can cause time delays. Therefore, position delay errors may occur. (Luca, Siciliano, and Zollo 2005; Perrusquía and Flores-campos 2020) In impedance control, the effect of gravity and the value of force applied to the manipulator are detected by the force-weight sensor and controlled in real time. This provides an advantage for the control of process speed and force reference, but requires the use of a force sensor in addition to the system unlike PD- Gravity control.

Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the author.

References

- Abu-dakka, Fares J, and Matteo Saveriano. 2020. "Variable Impedance Control and Learning — A Review." *Frontiers in Robotics and AI* 7(December): 1–18.
- Arevalo, Juan Carlos, and Elena Garcia. 2012. "Impedance Control for Legged Robots : An Insight Into the Concepts Involved." *IEEE TRANSACTIONS ON SYSTEMS, MAN, AND CYBERNETICS—PART C: APPLICATIONS AND REVIEWS* 42(6): 1400–1411.
- Ba, Kai-xian, and B I N Yu. 2018. "SPECIAL SECTION ON ADVANCED MODELING AND CONTROL OF COMPLEX A Novel Position-Based Impedance Control Method for Bionic Legged Robots' HDU." *IEEE Access* 6.
- Buchli, Jonas, Freek Stulp, Evangelos Theodorou, and Stefan Schaal. 2011. "Learning Variable Impedance Control." *The International Journal of Robotics Research* 30(7): 820–33.
- Campus, Umüttepe. 2021. "Impedance Control of a 2 DOF Serial Manipulator." *Robotica* 39–9(May): 1–15.
- Duperret, Jeffrey M, and D E Koditschek. 2015. "An Empirical Investigation of Legged Transitional Maneuvers Leveraging Raibert ' s Scissor Algorithm." *IEEE Conference on Robotics and Biomimetics*: 2531–38.
- He, Zewen et al. 2021. "Applied Sciences Controllable Height Hopping of a Parallel Legged Robot." *Applied Sciences (Switzerland)sciences* 11(1421): 1–16.
- Hogan, Neville. 1985. "Impedance Control: An Approach to Manipulation: Part II—Implementation." *Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control* 107: 8–16.
- Ji, Wei et al. 2021. "Grasping Mode Analysis and Adaptive Impedance Control for Apple Harvesting Robotic Grippers." *Computers and Electronics in Agriculture* 186(May).
- Jiao, Chunting et al. 2022. "Automatica Adaptive Hybrid Impedance Control for Dual-Arm Cooperative Manipulation with Object Uncertainties ☆." *Automatica* 140: 110232.
- Lara-molina, Fabian Andres, and Karina Assolari Takano. 2018. "Multi-Objective Optimal Design of Fl Exible-Joint Parallel Robot Parallel Robot." *Engineering Computations* 35(8): 2775–2801.
- Le, Tien Dung, Hee-jun Kang, and Quang Vinh Doan. 2013. "A Method for Optimal Kinematic Design of Five-Bar Planar Parallel Manipulators." *2013 International Conference on Control, Automation and Information Sciences (ICCAIS)*: 7–11.

- Lou, Yunjiang, Guanfeng Liu, Jijie Xu, and Zexiang Li. 2004. "A General Approach for Optimal Kinematic Design of Parallel Manipulators." In *IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2004. Proceedings. ICRA'04. 2004*, IEEE, 3659–64.
- Luca, Alessandro De, Bruno Siciliano, and Loredana Zollo. 2005. "Brief Paper PD Control with On-Line Gravity Compensation for Robots with Elastic Joints : Theory and Experiments." 41: 1809–19.
- Palma, Piotr, Karol Seweryn, and Tomasz Rybus. 2022. "Impedance Control Using Selected Compliant Prismatic Joint in a Free-Floating Space Manipulator." *Aerospace* 9(8).
- Perrusquía, Adolfo, and Juan Alejandro Flores-campos. 2020. "A Novel Tuning Method of PD With Gravity Compensation Controller for Robot Manipulators." *IEEE Access* 8.
- Rigatos, Gerasimos, and Masoud Abbaszadeh. 2022. "Nonlinear Optimal Control for a Five-Link Parallel Robotic Manipulator." *Journal of Vibration and Control* 0(May 2021): 1–22.
- Song, Peng, Yueqing Yu, and Xuping Zhang. 2017. "Impedance Control of Robots : An Overview." *International Conference on Cybernetics, Robotics and Control* (2).
- Xu, Kang et al. 2020. "Adaptive Impedance Control with Variable Target Stiffness for Wheel-Legged Robot on Complex Unknown Terrain." *Mechatronics* 69(April).
- Zhan-xi, Wang, Zhang Yi-ming, Chen Hang, and Wang Gang. 2021. "Adaptive Control Strategy of Robot Polishing Force Based on Position Impedance." *International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering* 15(9): 427–33.



GETİRİ ÖNGÖRÜLEBİLİRLİĞİNİ ÖĞRENMEYE YÖNELİK BİR SİMÜLASYON YAKLAŞIMI İLE PORTFÖY OPTİMİZASYONU: BORSA İSTANBUL UYGULAMASI

Hasan AKYER*

Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Denizli, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Portföy Optimizasyonu, Simülasyon, Finansal Oranlar.</i>	Bireysel ve kurumsal yatırımcılar açısından portföy oluşturmasındaki temel amaç yüksek getiri elde etmektir. Yatırımcılar açısından, varlıkların getiri ve risk yönlerini kapsamlı bir analiz yaparak minimum risk ve maksimum getiriyi oluşturacak şekilde bir portföy ortaya koymak gereklidir. Portföy optimizasyonu alanında, literatürde temel olarak iki yöntem kullanılarak portföy oluşturma çalışmaları yapılmıştır. Geleneksel portföy yönetimi, sektörel çeşitlendirme esasına dayanmaktadır. Modern portföy yönetimi ise matematiksel modeli esas alan yenilikçi bir yaklaşımdır. Bu çalışmada, modern portföy yaklaşımları temelli simülasyon metodu kullanılarak portföyler elde edilmiştir. BİST 30'da yer alan şirketlerin Piyasa Değeri / Defter Değeri (PD/DD) ve Fiyat – Kazanç (F/K) oranlarını kullanarak Monte Carlo simülasyonu metodu ile yatırımcıların risk algısına göre portföyler elde edilmiştir. Çalışma sonucunda, portföyün en yüksek yüzdesini oluşturan hisselerin PD/DD değerinin daha düşük olanlar olduğu gözlemlenmiştir. F/K değerlerinin ikinci derece önemli faktör olduğu görülmüştür.

PORTFOLIO OPTIMIZATION WITH A SIMULATION APPROACH TO LEARN ABOUT RETURN PREDICTABILITY: BORSA ISTANBUL APPLICATION

Keywords	Abstract
<i>Portfolio Optimization, Simulation, Financial Ratios.</i>	The main purpose of creating a portfolio for individual and institutional investors is to obtain high returns. For investors, it is necessary to make a comprehensive analysis of the return and risk aspects of the assets and to present a portfolio that will create minimum risk and maximum return. In the field of portfolio optimization, portfolio creation studies have been carried out using basically two methods in the literature. Traditional portfolio management is based on sectoral diversification. Modern Portfolio Management is an innovative approach based on the mathematical model. In this study, portfolios are obtained by using simulation method based on modern portfolio approaches. Portfolios were obtained according to the risk perception of the investors by using the Monte Carlo simulation method by using the Market Value / Book Value (MV / BV) and Price - Earnings (P/R) ratios of the companies in BIST 30. As a result of the study, it has been observed that the stocks that make up the highest percentage of the portfolio have lower MV/BV values. P/R values were found to be the second-degree important factor.

Alıntı / Cite

Akyer, H., (2023). Getiri Öngörülebilirliğini Öğrenmeye Yönelik Bir Simülasyon Yaklaşımı ile Portföy Optimizasyonu: Borsa İstanbul Uygulaması, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(4), 1461-1474.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

H. Akyer, 0000-0002-4758-1530

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	31.01.2023
Revizyon Tarihi / Revision Date	05.10.2023
Kabul Tarihi / Accepted Date	09.10.2023
Yayın Tarihi / Published Date	30.12.2023

* İlgili yazar / Corresponding author: akyer@pau.edu.tr, +90-258-296-3091

PORTFOLIO OPTIMIZATION WITH A SIMULATION APPROACH TO LEARN ABOUT RETURN PREDICTABILITY: BORSA ISTANBUL APPLICATION

Hasan AKYER[†]

Pamukkale University, Faculty of Engineering, Department of Industrial Engineering, Denizli, Türkiye

Highlights

- The main purpose of creating a portfolio for individual and institutional investors is to obtain high returns.
- Market Value / Book Value (MV / BV) and Price - Earnings (PR) ratios of the companies are important factors to obtain optimum portfolio.
- With the Monte Carlo simulation method, portfolios can be created according to the risk perception of the investors.

Purpose and Scope

In order to plan for the future when creating a portfolio, it is necessary to make forecasts and analyze related situations for potential risks. For investors, it is important to conduct a comprehensive analysis of the return and risk aspects of assets and present a portfolio that minimizes risk and maximizes return. In this study, optimal portfolios were obtained by using financial performance ratios to measure the performance of companies.

Design/methodology/approach

In the study, analyzes were made using the financial data and share prices of BIST-30 companies listed in Borsa Istanbul. Monte Carlo simulation method was chosen as the analysis method. The main reason for choosing this method is that the Monte Carlo simulation method offers the opportunity to simulate the uncertainty of the future and the randomness of events more appropriately to real life.

Findings

In the study, 70% of the portfolio proposed consists of banking shares, 18% of Turkish Airlines and the remaining 12% of holding and industrial companies. BIST-30, BIST-100 index values and the returns of the proposed portfolio at the end of the working period were examined. Against the 182% and 186% returns of the BIST-30 and BIST-100 indices, the proposed portfolio yielded 289% returns. The return performance of the proposed portfolio is well above the Borsa Istanbul index returns, which can be considered as a reference.

Originality

Portfolio creation methods are divided into traditional and modern methods. In the literature, studies based on average variance and capital asset pricing model, which are among the modern portfolio management approaches, are in majority. In the study, Monte Carlo simulation, which is one of the modern methods, which is less applied in the literature, was used. Portfolios were obtained by prioritizing randomness according to the designed scenario. According to the results of this study, Monte Carlo simulation can be applied to help decision-making in uncertain matters and can be used for forecasting in uncertainty situations.

1. Giriş (Introduction)

İnsanlar tarih boyunca çok farklı ihtiyaçlarını karşılamak için varlık edinme yoluna gitmişlerdir. 18.yy öncesine kadar topluluklar sadece temel ihtiyaç duydukları ürünler için çalışabildiğinden üretim varlıkları daha çok devletlerin kontrolündeydi. Bu durumda sermaye ya çok az kişi ve kurumlarda ya da tamamen devletlerin sahipliğindedi. 19.yy başları itibarı ile sanayi devrimi doğmuş ve makineleşmenin de etkisiyle seri üretim sayesinde daha çok mal üretimi gerçekleştirilebilmiştir. Bunun sonucunda özel sektör de sermaye birikimi sağlayabilmiştir. 20.yy ortalarından itibaren özellikle 2. Dünya savaşı sonrasında Amerika ve Avrupa'da finans piyasaları hızla gelişmiştir. Daha sonraları bilişim ve internet alanındaki gelişmelerin de etkisiyle ve bunlara ilave olarak küreselleşme akımları sonucunda uluslararası ticaret hızlı bir büyüme kaydetmiştir. Bu gelişmelerin yanında dünya nüfusunun da hızla artması sonucunda tüm ülkelerde mal ve hizmet piyasaları hızla gelişme göstermiştir (Karan, 2011). Tüm bu tarihsel süreç sonunda finansal piyasalar hızla büyümüş ve finansal varlıkların değerlendirilmesi de önemli bir çalışma alanı olmuştur.

Finans alanının önemli bir çalışma alanı portföy yönetimidir. Portföy, birden çok varlıktan oluşturulan yeni bir varlık kümesi olarak tanımlanabilir. Portföy yönetimi alanında, literatürde temel olarak iki yöntem kullanılarak

[†] Corresponding author: akyer@pau.edu.tr, +90-258-296-3091

portföy oluşturma çalışmaları yapılmaktadır. Geleneksel portföy yönetiminde portföyler sektörel bazda çeşitlendirme esasına göre yapılmaktadır. Modern portföy yönetimi ise matematiksel modeli esas alan yenilikçi bir yaklaşımdır (Korkmaz, 2013). Yatırımcının, portföy optimizasyon yöntemlerinden beklentisi katlandığı riske karşılık en iyi getiriye elde etmektir (Deniz, 2014). Geleneksel portföy yönetiminde daha düşük riskli portföyler elde etmek için farklı sektörlerden şirketlere yatırım yapmak önerilmektedir (Civan, 2010). Ancak sektör farklılaşması yapılsa da riskin azalmadığı durumlar gözlemlenmiştir. Markowitz (1952), yaptığı çalışmada portföyü oluşturan varlıkların getirilerindeki değişkenliğin korelasyonunu incelemiş ve birbiri ile daha düşük korelasyona sahip menkul kıymetlerden portföy oluşturulur ise riskin azalabileceği hatta her bir varlığın riskinden daha az riskli portföyler elde edilebileceğini bulmuştur. Geleneksel yöntemde yatırımcının tecrübeleri ile portföyler oluşturulur iken, modern yöntemde geçmiş fiyat hareketlerinin analizi ile portföyler oluşturulmaktadır.

Finans mühendisliği alanındaki çalışmalar yaygın olarak tahmin etmeye odaklanır. Başlıca çalışma alanları, portföyün gelecekteki değeri, firma değerinin belirlenmesi, türev menkul kıymetlerin fiyatlandırılması, portföy risklerinin değerlendirilmesidir (Chen, 2007). Bir varlığın değerini hesaplamak, gelecek söz konusu olduğundan uzun vadede belirsizlik, orta-uzun vadede ise risk olgusunu içermektedir. Dünyada, varlık değerlemesi için birçok model üzerinde çalışılmıştır.

Bu çalışmada, karmaşık rastgele değişkenleri barındıran Monte Carlo simülasyonu yapılmıştır. Monte Carlo simülasyonu, beklentileri tahmin etmek için sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Diğer sayısal yöntemlerle karşılaştırıldığında, Monte Carlo simülasyonunun çeşitli avantajları vardır. İlk olarak, kullanımı kolaydır. Çoğu durumda, stokastik süreç modelinden örnek yollar simüle edilebilirse değer tahmin edilebilir. İkincisi, yakınsama oranı tipik olarak problemin boyutluluğuna bağlı değildir. Bu nedenle, Monte Carlo simülasyonunu yüksek boyutlu problemlere uygulamak daha etkindir.

Mora (2010) ve Demiguel (2007), yaptıkları çalışmalarda geleneksel ve modern portföy yönetimi yaklaşımları ile elde edilen portföy getirilerinin birbirine anlamlı üstünlükler göstermediğini bulmuşlardır. Jonson ve Larsson (2014) çalışmalarında, yatırımcılar geleneksel yöntemde tecrübeleri ile portföyler oluşturulur iken, modern yöntemde ise geçmiş fiyat hareketlerinin analizi ile portföyler oluşturduklarını araştırmışlardır. Her iki durumda da geçmiş dönemler ön plandadır. Avrupa borsaları üzerinde yapılan çalışmalarda araştırmacılar, geçmiş fiyat hareketlerinin gelecekteki fiyatlar için iyi bir tahminleyici olmadığını göstermişlerdir (Fabozzi, 2002; Dirk, 1998).

Her iki metodun da zayıf yanı geleceğin göz önüne alınmadan portföylerin oluşturulmasıdır. Portföy oluşturmada geleceğe yönelik planlama yapabilmek için tahminler ve ilgili durumların risk analizlerinin yapılması gereklidir. Yatırımcılar, tahmin ve analizlerden yararlanarak buldukları ortamdaki değişikliklere başarılı ve hızlı bir şekilde uyum sağlayarak hedeflenen getiriye ulaşabilirler. Çalışmada, modern portföy yaklaşımları temelli simülasyon metodu kullanılarak portföyler oluşturulmuştur.

Monte Carlo simülasyon yöntemi kullanılarak Borsa İstanbul'daki şirketlerin finansal değerleri ile portföyler oluşturulmuştur. Çalışmada, kullanılan finansal oranların seçiminde finansal veri sağlayıcıların tüm yatırımcılara kolay ve ücretsiz olarak sunduğu ve literatürde incelenmiş finansal oranlar kullanılmıştır (İc, 2014). Literatürde, genellikle piyasa değeri/defter değeri oranı kullanılarak analizler yapılmıştır. Bu çalışmada, portföy oluşturmak için şirketlerin piyasa değeri/defter değeri oranları ve fiyat/kazanç oranları birlikte kullanılarak analizler yapılmıştır. Ayrıca, iki aşamalı bir Monte Carlo simülasyon uygulaması ile daha az sayıda hisse senedinden oluşan portföyler elde edilmiştir. Bu durumda, yatırımcı açısından portföyün yönetimi kolaylaşmış ve işlem maliyeti azalmıştır.

Çalışmanın 2. bölümünde finans alanındaki simülasyon ile ilgili kaynak araştırması sunulmuştur. Bölüm 3'te Monte Carlo simülasyonu teori ve uygulama alanları anlatılmıştır. 4. Bölümde ise Borsa İstanbul'da listelenen 30 büyük şirket verileri için uygulama çalışmasının sonuçları sunulmuştur. Son bölümde sonuçlar yorumlanmıştır.

2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Küreselleşen dünyada finans piyasaları hızla gelişmiş bunun sonucunda kişi ve kurumlarda varlık birikimi olmuştur. Bu gelişmelerin sonucunda portföy yönetimi oldukça önem kazanmıştır. Araştırmacılar, kendi gelirini artırmak isteyen kişi ve kurumların beklentilerini karşılamak için çeşitli yöntemler geliştirmişlerdir. Çalışmada ele alınan portföy optimizasyonu için temel finans makaleleri araştırılmıştır. Uygulamada kullanılan simülasyon metodu için literatürde birçok araştırma yapıldığı gözlemlenmiş ve temel çalışmalar incelenmiştir.

Finans mühendisliğinde, 2002 yılına kadar Monte Carlo yönteminin gelişimini inceleyen analiz çalışmaları Staum (2002)'de bulunabilir. Bir finansal değeri tahmin etmek amacıyla Monte Carlo simülasyonu uygulaması üç adımda

gerçekleştirilir. Sırasıyla; örnek yollar oluşturmak, her yol boyunca getiriye değerlendirmek ve tahmin elde etmek için bir ortalama hesaplamaktır.

Yıldırım ve Çolakyan (2014), Borsa İstanbul endeks ve döviz verilerini kullanarak riske maruz değeri farklı metodlarla incelemişler. Monte Carlo simülasyonu yönteminin; varyans analizi, simülasyon modeli yaklaşımı ve hareketli ortalamalara göre daha iyi getiriler tahmin ettiğini gözlemlemişlerdir. Aygören (2006) çalışmasında, Monte Carlo simülasyon metoduyla Borsa İstanbul endekslerinin getiri değerlerini belirlemeye çalışmış ve gerçek verilerle kıyaslamıştır. Gerçekleşen ile Monte Carlo simülasyonu sonuçlarının örtüşmediğini belirten çalışmada fiyat değişimlerinin modellenmesi üzerinde çalışılmıştır. Kartaloğlu (2010) çalışmasında, elde tutma süresi ve güven seviyesini hesaplamak için varyans analiz metodu, simülasyon yaklaşımı ve Monte Carlo simülasyonu ile üç farklı portföyün riske maruz değerlerini bulmuştur. Simülasyon yöntemindeki sonuçların daha iyi getiriler sunduğu görülmüştür. Şener C. ve Şener U. (2019), Amerikan ve Türk hava yolu hisselerinin verilerini Monte Carlo simülasyonu yöntemiyle tahmin çalışması yapmışlardır. Dolar kurunun Türk hisse senetleri piyasası üzerinde olumsuz sonuçlara neden olduğunu belirtmişlerdir. Altay (2009) çalışmasında, 1997-2006 yılları arasında haftalık ham petrol fiyatı verilerini kullanarak Monte Carlo simülasyonu yöntemiyle riske maruz değerleri tahmin etmiş ve gelecek yıllarda gerçekleşmiş olan verilerle kıyaslayarak uyumun olduğu gözlenmiştir.

Sakarya ve Akkuş (2017), katılım bankalarının finansal krizlere dayanıklılığını ölçmek için Monte Carlo simülasyon tekniğiyle kayıp tahminleri analizini yapmışlardır. Analizleri sonucunda, katılım bankalarının oluşabilecek finansal krizlere karşın yeterli sermaye varlıklarının olduğu bulunmuştur. Aktan (2007) çalışmasında, Türkiye’de faaliyet gösteren ticari bankaların piyasa riskine bağlı sermaye yeterliliklerini kontrol altında tutmak önemlidir. Aktan, bankaların riske maruz değerini hesaplamak için 2001-2003 yılları arası döviz pozisyonunu Monte Carlo simülasyonu ile simüle ederek bulmuştur. Yöntem, 2000 rassal sayı üretilerek uygulanmış olup diğer yöntemlerle karşılaştırılmıştır. Taş (2008) çalışmasında, Monte Carlo simülasyonu metodunu kullanarak IMKB-30 endeks değeri ve hazine bonolarından oluşturulan portföylerin, güvenlik düzeyi yükseldikçe portföyün riske maruz değerlerinin arttığını gözlemlemişlerdir.

Büberkökü (2022), üç metaverse coin seçilerek risk analizi yapılmıştır. Bu risk analizlerinde kullanılan yöntemlerden biri de Monte Carlo simülasyonu yöntemidir. GARCH modeli uygulanarak riski minimize eden optimal portföyler ve yatırım yaparsak oluşabilecek riskleri yönetmek için korunma oranları belirlenmiştir. Amaç metaverse coin yatırımcılarının kararlarını en iyi şekilde verebilmelerini sağlamaktır. Büberkökü (2018) çalışmasında, sekiz farklı ülkenin para birimlerinin olağandışı finansal durumlarda oluşabilecek kayıpları hesaplamıştır. Ekstrem değerler teorisi kullanılmış ve kayıp tutarları için Monte Carlo simülasyonu risk analizleri kullanılarak en yüksek kayıp Brezilya ve Güney Afrika para birimlerinde, en düşük kayıp ise Tayvan, Tayland ve Hindistan para birimlerinde olduğu gözlemlenmiştir.

Aygören ve İlem (2010) çalışmalarında, Denizli ilinde muayene istasyonu yatırımının kârlılık analizini, net bugünkü değerlerini girdi verisi olarak, Monte Carlo simülasyonu metodu ile modelleyip araç muayene istasyonları için yatırım sermaye bütçelemesi çalışmasını yapmışlardır. Acar (2014) çalışmada, devlet desteği ile yapılan projelerde nakit akışları belirlemek için net bugünkü değer yöntemi seçilmiş ve daha sonra Monte Carlo simülasyonu ile risk düzeyi belirlenmiştir. Araştırmacı, projeye ait yapım maliyetlerini, sermaye maliyetlerini belirsiz parametreler olarak almış ve bu bulgulara göre projenin risk düzeyini belirlemiştir. Demirdöğen (1998) çalışmasında, bir çimento fabrikasının 1996 yılı satış verileri ile Monte Carlo simülasyonu yapılmış olup 1997 yılı satış verileriyle karşılaştırılmıştır. Tahminlerin gerçek verilerle uyum içinde olduğu gözlenmiştir. Mevsimsel dalgalanmaların da tahminleme yaparken göz önünde bulundurmaya gerektiğine değinen yazar, istikrarlı satışa sahip sektörlerde bu simülasyon yönteminin kullanılabilirliğini söylemiştir.

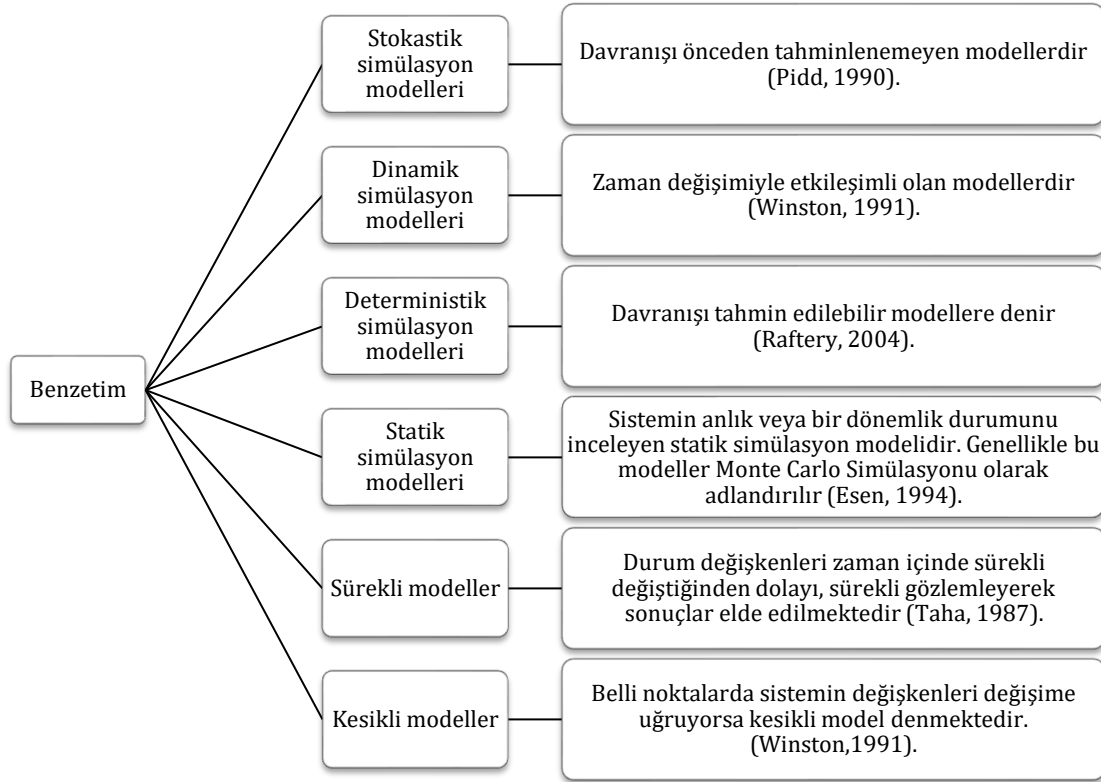
Hançerlioğlu (2006) çalışmasında, geliştirilen Monte Carlo N – Parçacık Taşınım kodu sistem tasarımı hakkında geniş bilgiler içermektedir ve karmaşık modellerin çözümünde etkinliği incelenmiştir. Mendeş (2005) simülasyon çalışmalarında deneme sayısının ne olması gerektiğini, 1. tip hata olasılıklarının kararlılığına etkisi analizi ile araştırmıştır. Deneyler karşılaştırıldığı zaman, 50.000 ile 70.000 simülasyon denemesinin güvenilirliği arttırdığı ve yeterli olduğu bulunmuştur.

3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Finansal analizde kullanılan finansal oran, mali tablolarla alt bileşenlerin arasındaki ilişkiyi matematiksel olarak hesaplama işlemidir (Akgüç, 1991). Gerçekçi bir finansal analiz elde etmek için anlamlı alt bileşenler arasındaki finansal oranlar hesaplanmalı ve şirketin bulunduğu sektörün oranları ile karşılaştırılmalıdır.

Simülasyon, bir sistemin benzerini oluşturmaktır. Karmaşık problemleri çözmek ve sistemin olasılıklarını tahmin etmek amacıyla kullanılan analitik bir yaklaşımdır. Şekil 1’de temel benzetim modelleri gösterilmiştir. Büyük

problemlerin çözümünü daha kolay hale getirebilmek için kullanılır. Sistemin benzerini yaratmaktaki amaç sistemi gerçek hayattaki sonuçlarını almadan önce tahmin ederek işleyiş hakkında bilgi sahibi olmak, avantaj ve dezavantaj gibi faktörleri değerlendirmek amacıyla sistemin önceden modellenmesidir (Başar, 2019).



Şekil 1. Benzetim modelinin gösterimi (Representation of the simulation model) (Başar, 2019)

Monte Carlo simülasyonu, tekrarlanan rastgele örnekleme yoluyla belirsiz bir süreçte meydana gelen birden fazla olası sonucun olasılığını hesaplamak için kullanılan matematiksel bir yöntemdir. Bu hesaplama algoritması, belirli bir süreçle ilişkili risklerin değerlendirilmesini kolaylaştırır ve böylece daha iyi karar vermeyi mümkün kılar.

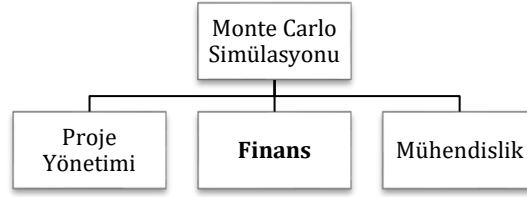
Çoklu olasılık simülasyonu olarak da adlandırılan Monte Carlo simülasyon yaklaşımı, olasılıksal problemlere çözüm aramak için rassal örneklemeleri kullanır. Tedarik zinciri, proje yönetimi, finans, mühendislik, satış tahmini ve hisse senedi fiyatlama alanlarında özellikle tahmin yapmak için uygulamaları mevcuttur.

Monte Carlo simülasyonu, maliyet aşımalarının olasılığını tahmin etmeye yardımcı olur, işletmelerde ve finasta bir varlığın fiyat hareketini tahmin eder. Proje Yönetimi alanında, Beta fonksiyonu en sık kullanılan olasılık dağılımıdır. İşletmeler, bu yöntemi kullanarak program ve bütçeyle ilgili riskleri değerlendirebilir. Ayrıca, projelerin faaliyetlerinde bir değişiklik olduğunda gecikme ve son teslim zamanı tahmininde de bu simülasyon tekniğinden faydalanılır.

Finans sektöründe Monte Carlo simülasyonundan çok farklı alanlarda yararlanılmaktadır. Bunlardan ilki opsiyon değerlemesidir. Hisse senedi opsiyonları fiyatlandırmasıyla ilişkili potansiyel risklerin analiz edilmesine yardımcı olur. Farklı fiyat yolları için opsiyon getirisini belirlemek için birden fazla fiyat yolunda temel hisse değerlerindeki dalgalanmayı simüle eder. Diğer bir kullanım alanı ise portföy değerlemesidir. Bu yöntem, tüm olası sonuçları değerlendirmek için birden çok portföyün değerini etkileyen faktörleri simüle eder. Son olarak, tüm simüle edilmiş portföylerin genel ortalama değerini belirler ve bunu en doğru portföy değerlendirmesini hesaplamak için kullanır. İşletmede kurumsal karar vericiler satış hacmini, emtia fiyatlarını, işçilik maliyetlerini, döviz kurlarını tahmin için bu stratejiyi kullanır. Monte Carlo yöntemi, finans, mühendislik ve meteoroloji gibi çeşitli alanlarda risk derecesini ve hata yüzdesini değerlendirir. Bu işlemlerde yer alan tekrar eden olayların analizi için tahmin edilebilir analizler elde edilir.

Monte Carlo simülasyon metodu, rassal değişkenler nedeniyle belirsiz durumlarda risk analizi ölçmek ve tahmin için başarılı bir yöntemdir. Uygulama alanında, bir süreçteki farklı olası sonuçların olasılığını tahmin etmek için bilgisayar programlarının kullanımı yaygındır. Bilgisayar ortamında, değişken girdilere birden çok değer atar ve tekrarlanan rassal örnekleme yapar. Simülasyon tamamlandıktan sonra bu sonuçların ortalaması bir tahmin verecektir. Adını Monaco'daki Monte Carlo Casino'dan alır. Bununla birlikte, herhangi bir rassal olay dizisi için

olasılık bulma yöntemi, İkinci Dünya Savaşı'na kadar uzanır. Monte Carlo simülasyon metodu, 1940'lı yıllarda yapılan bilim insanlarının çalışmalarıyla, belirsizlikler karşısında öngörülebilir sonuçlar elde edebilmek için geliştirildi (Sokolowski, 2010). Şekil 2'de Monte Carlo simülasyonu kullanım alanları verilmiştir.



Şekil 2. Monte Carlo simülasyonu kullanım alanları (Monte Carlo simulation usage areas) (Sokolowski, 2010)

3.1. Monte Carlo Simülasyonu Uygulamaları (Monte Carlo Simulation Applications)

Güncel verileri kullanarak gelecek verileri tahmin etmek finans alanının en önemli çalışma konularındandır. Monte Carlo simülasyonu metodu tarihi simülasyon metoduyla benzerlikler göstermektedir, (Duman, 2000). Her benzetim yöntemindeki gibi Monte Carlo'daki amaç da karmaşık problemlerin daha kolay çözülmesidir. Verilerin tahminlemesi, risklerin hesaplanması ve karar vermede bu yöntem etkili sonuçlar vermektedir. Monte Carlo simülasyonu girdi ve değişkenlere düşük ve yüksek değerler atayarak değişkenleri bu sınır arasında normal, ayırık ve doğrusal dağılımlar atayarak tahminleme yapar. Tahminler, gerçek verilerle örtüştüğünden birçok alanda karmaşık problem çözümleri için yıllardır kullanılan bir metot olmuştur (Hançerlioğulları, 2006).

Tahmin yapmak istediğimiz ve karar vermek istediğimiz olayı simüle ederek olasılık dağılımlarını üretilen rastgele sayı değerleri ile seçimi doğrultusundaki çıktılarla analiz yapabilmemizi sağlayan bir metottur. Bu sayede gelecekteki karşılaşılabileceğimiz olumsuz durumlar, riskler konusunda fikrimiz olmuş olur. Özellikle bir menkul kıymetin piyasa performansını tahmin ederken bu yöntemi kullanmak önemlidir. Sadece rastgele sayı üretmeye ihtiyaç duyan bu benzetim yöntemi uygulama kolaylığından dolayı yaygın kullanım alanı vardır. Monte Carlo simülasyonu, istatistiksel bir süreçte deterministik bir şekilde tahmin yapmak yerine, rastgele sonuçların tahminini yapmak için rastgele değerler kullanmaktadır (Gentle, 2010).

Monte Carlo simülasyonu, satış tahmini, hisse senedi ticareti ve bütçe hazırlık planlama çalışmalarında uygulama alanları vardır. Bu bağlamda Monte Carlo simülasyon tekniğinin araştırmacılara sunduğu avantaj ve zorluklar vardır.

Monte Carlo simülasyonunun avantajları;

1. Önemli olan sistemin modelini kurabilmektir. Sonrasında başka durumlar için de aynı model üzerinden analiz yapılabilir.
2. Analistleri genel olarak düşünmeye iter.
3. Çözümlerin doğruluğunu ispatlamak için kullanılan bir yöntemdir.
4. Farklı şartlarda sistemin davranışı hakkında, veri azlığı veya hiç veri olmaması gibi durumlarda deney yapmak için kullanılabilir.
5. Sistemi simüle etmek daha detaylı gözlem yapabilir, daha iyi anlayabilir ve eksiklikleri kolayca gözlemleyebilir kılar (Craig, 2004).

Monte Carlo simülasyonunun dezavantajları;

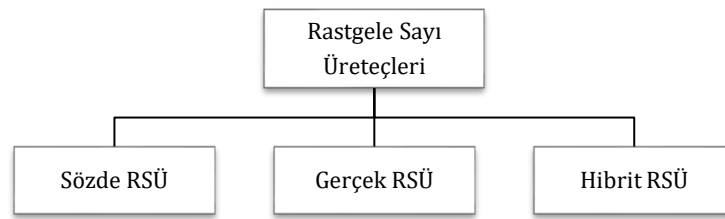
1. Sistemin benzetimini kurmak ve geçerliliğini kanıtlamanın maliyeti yüksektir. Her sistem için ayrı programlar yazılmalıdır.
2. Analistler benzetim metodunu öğrendikten sonra analitik metodların daha uygun olması durumlarında da benzetim metodunu kullanmaya eğilimlidirler (Craig, 2004).

Rassal değişken olarak adlandırdığımız değişkenler, değeri net bir şekilde tahminlenemeyen değişkenlerdir. Örnek olarak faiz oranları, talep eğrileri, gelecekteki maliyetler, döviz kurları gibi değerler gösterilebilir. Monte Carlo simülasyon metodunda rassal değişkenlerin alt ve üst sınırlarıyla, belirlenmiş dağılıma göre rassal sayılar üretilir. Sonrasında bu rassal sayılar oluşturmuş olduğumuz modelde yerine koyularak gözlem yapılır. Tekrarlanan rastgele örnekleme kullandığından, olasılıkların veya tahminlerin doğruluğu örneklerin türüne, doğasına ve hacmine göre değişir. Tablo 1'de rastgele sayı kullanım alanları ile ilgili çalışmalar sunulmuştur.

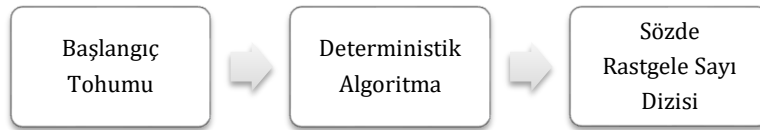
Tablo 1. Rastgele sayı kullanım alanları (Random number usage areas)

Yıl	Yazar	Uygulama
2013	Kalicharan, N.	Bilgisayar oyunlarında gerekli olan rastgeleliğin üretimi
1938	Kendall, M. G. ve B. B. Smith	Rastgele örnekleme
2009	Weidenmüller, H. ve G. Mitchell	Nükleer fizikte parçacıkların muhtemel çarpışma durumlarının simüle edilmesi
2020	Cinar, A. C.	Yapay sinir ağlarının başlangıç ağırlık değerlerinin belirlenmesi
2009	Kesur, K. B.	Trafik sıkışıklığı için simülasyon çalışması yapılmış, trafik ışıkları yanma zamanlaması incelenmiştir
2021	Kaya ve Ark.	Sentetik veri üretim algoritmaları
2021	Cinar, A. C.	Metasezgisel optimizasyon algoritmalarının aday çözümlerinin üretiminde

Rassal sayı üreticileri ile üç tür rassal sayı üretilebilmektedir (Vahidi, 1991). Monte Carlo simülasyon metodunda, çok fazla rastgele sayı üretmemiz gerektiğinden bilgisayarların yardımı kullanılmaktadır.

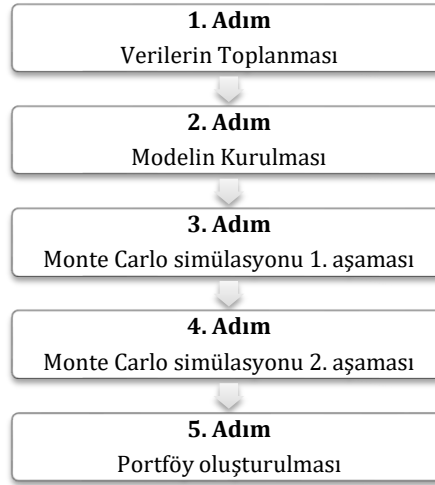
**Şekil 3.** Rastgele sayı üreticileri (Random number generators) (Vahidi, 1991)

Bilgisayar ortamında üretilen sayılara sözde rastgele sayı denilmektedir. Şekil 3'de Rastgele sayı üreticileri verilmiştir. İyi bir sözde rastgele sayı üretebilmek için, üretilen sayının tahmininin yapılamaması ve belli bir düzene göre üretim yapmaması beklenmektedir. Sözde rastgele sayı elde edebilmek için başlangıç değerimiz olmalı ve bu başlangıç değerine tohum adı verilmektedir. Bu başlangıç tohum değeri kullanılarak deterministik rastgele sayı üretilir. İlgili algoritma tasarımı Şekil 4'de gösterilmiştir. Tohum değeri bulunabilirse rastgele sayı dizisi yeniden hesaplanabildiğinden dolayı güvenlik açısından olumsuz sonuçlar doğurabilir.

**Şekil 4.** SRSÜ'nin genel tasarımı (General design of random number generation) (Cinar, 2020)

4. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

Çalışmada, Borsa İstanbul'da listelenen BİST-30 şirketlerinin finansal verileri ve hisse fiyatları kullanılarak analizler yapılmıştır. Analiz metodu olarak Monte Carlo simülasyon yöntemi seçilmiştir. Bu yöntemin seçilmesindeki en temel gerekçe, Monte Carlo simülasyon metodunun geleceğin belirsizliğini ve olayların rassallığını gerçek hayata daha uygun biçimde benzetebilme olanağı sunmasıdır. Finansta Monte Carlo veya Çoklu Olasılık Simülasyonu, opsiyon değerlemesi, portföy değerlemesi ve duyarlılık analizleri için kullanılmaktadır. Böylece, yatırımcıların ticaretle ilişkili riski değerlendirmelerine ve finansal modeller geliştirmelerine olanak tanır. Çalışmanın adımları Şekil 5 üzerinde gösterilmiştir. Portföy oluşturma sürecinde öncelikle veriler analiz edilmiş ve iki aşamada Monte Carlo simülasyon algoritması kullanılmıştır.



Şekil 5. Monte Carlo simülasyonu algoritması (Monte Carlo simulation algorithm)

Çalışmada, incelenen hisselerin belirli bir tarihteki (07.10.2021) Piyasa Değerleri, Defter Değerleri ve Fiyat Kazanç Değerleri girdi bilgisi olarak kullanılmıştır. Tablo 2’de BİST-30, Borsa İstanbul’da listelenen 30 şirketin hisse kodu ve isimleri verilmiştir (KAP, 2021).

Tablo 2. BİST 30 Hisse senetleri (BIST 30 Stock list)

NO	HİSSE KODU	HİSSE ADI	NO	HİSSE KODU	HİSSE ADI
1	AKBNK	Akbank T.A.Ş.	16	PETKM	Petkim Petrokimya Holding A.Ş.
2	ARCLK	Arçelik A.Ş.	17	SAHOL	Hacı Ömer Sabancı Holding A.Ş.
3	ASELS	Aselsan Elektronik Sanayi Ve Ticaret A.Ş.	18	SASA	Sasa Polyester Sanayi A.Ş.
4	BIMAS	Bim Birleşik Mağazalar A.Ş.	19	SISE	Türkiye Şişe Ve Cam Fabrikaları A.Ş.
5	DOHOL	Doğan Şirketler Grubu Holding A.Ş.	20	TAVHL	Tav Havalimanları Holding A.Ş.
6	EKGYO	Emlak Konut Gayrimenkul Yatırım Ortaklığı A.Ş.	21	TKFEN	Tekfen Holding A.Ş.
7	EREGL	Ereğli Demir Ve Çelik Fabrikaları T.A.Ş.	22	THYAO	Türk Hava Yolları A.O.
8	FROTO	Ford Otomotiv Sanayi A.Ş.	23	TUPRS	Tüpraş-Türkiye Petrol Rafinerileri A.Ş.
9	GARAN	Türkiye Garanti Bankası A.Ş.	24	TTKOM	Türk Telekomünikasyon A.Ş.
10	GUBRF	Gübre Fabrikaları T.A.Ş.	25	TCELL	Turkcell İletişim Hizmetleri A.Ş.
11	KRDMD	Kardemir Karabük Demir Çelik San. Ve T.A.Ş.	26	HALKB	Türkiye Halk Bankası A.Ş.
12	KCHOL	Koç Holding A.Ş.	27	ISCTR	Türkiye İş Bankası A.Ş.
13	KOZAL	Koza Altın İşletmeleri A.Ş.	28	VAKBN	Türkiye Vakıflar Bankası T.A.O.
14	KOZAA	Koza Anadolu Metal Madencilik İşletmeleri A.Ş.	29	VESTL	Vestel Elektronik Sanayi Ve Ticaret A.Ş.
15	PGSUS	Pegasus Hava Taşımacılığı A.Ş.	30	YKBNK	Yapı Ve Kredi Bankası A.Ş.

Tablo 3’de BİST-30 hisse senetlerine ait finansal oranlar (sırasıyla PD/DD ve F/K) gösterilmiştir. Piyasa değeri defter değeri oranı (PD/DD) şirketin piyasa değeri ile öz varlık değerini kıyaslamak için kullanılmaktadır. PD/DD şirket değerlendirmesinde kullanılan önemli bir orandır. Piyasa değeri, bir şirketin toplam hisse adedinin piyasada işlem gören bir hisse fiyatıyla çarpımından elde edilen değerdir. Defter değeri işletmenin varlıkları ile borçları arasındaki farktır. Fiyat kazanç oranı ise yatırımcıların bir şirketi kaç yıllık kârına satın alabileceklerini temsil eden bir orandır. Bu oran ne kadar küçük ise şirketin hisse senedi o kadar ucuzdur denebilir. Ancak, şirketin kârlarının gelecekte de aynı düzeyde devam edeceği varsayımı ile bu oran geçerliliğini korumaktadır. Analiz yapılan şirketlerin faaliyet alanları farklı olduğundan dolayı sektörler bazında bu oranlar farklılık göstermektedir. Özellikle bankacılık sektöründe bu iki oranın diğer sektörlerde göre daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.

Tablo 3. BİST 30 finansal oranlar (Financial ratios of BIST 30)

NO	HİSSE KODU	PD/DD	F/K	NO	HİSSE KODU	PD/DD	F/K
1	AKBNK	0,42	3,8	16	PETKM	1,7	5,21
2	ARCLK	1,51	6,51	17	SAHOL	0,52	3,6
3	ASELS	1,9	7,41	18	SASA	9,31	43,58
4	BIMAS	6,71	12,92	19	SISE	1,02	6,04
5	DOHOL	0,71	4,79	20	TAVHL	0,86	109,68
6	EKGYO	0,49	5,49	21	TKFEN	0,8	10,37
7	EREGL	1,49	8,28	22	THYAO	0,4	0,1
8	FROTO	9,55	10,91	23	TUPRS	2,88	39,48
9	GARAN	0,56	4,48	24	TTKOM	2,1	6,3
10	GUBRF	12,43	54	25	TCELL	1,72	7,35
11	KRDMD	1,64	4,88	26	HALKB	0,26	11,41
12	KCHOL	1,13	5,69	27	ISCTR	0,35	3,11
13	KOZAL	1,79	6,95	28	VAKBN	0,28	4,16
14	KOZAA	1,49	6	29	VESTL	0,99	4
15	PGSUS	1,71	0,1	30	YKBNK	0,42	3,46

Genel manada, PD/DD oranı 1'in üzerine çıktığında şirketin pahalı olduğu anlamına gelmektedir. Benzer şekilde, bu oran 1'in altında ise şirketin ucuz olduğu ve şirketin hisse senedi fiyatlarının yükselme potansiyelinin olduğu anlamına gelmektedir. Tablo 3'de de görüldüğü gibi GUBRF ve SASA kodlu şirketlerin hem PD/DD hem de F/K değerleri diğerlerine göre oldukça yüksektir. Genel kabul olarak her iki oranın çok yüksek olduğu şirketler daha düşük oranlı şirketlere göre daha risklidir. Yatırımcıların daha az riskli şirketlerden oluşan portföylere yatırım yapması önerilmektedir.

Finans piyasalarında genel kabul olarak PD/DD ve F/K oranlarının düşük olması yatırımcı açısından bu oranlara sahip şirketlerin kazanç potansiyelinin yüksek olacağı görüşü hakimdir. Tablo 3'de her bir şirketin isminin yanında şirketin PD/DD ve F/K değerleri sunulmuştur.

İlk önce, Tablo 3'de listelenen 30 şirket PD/DD açısından küçükten büyüğe sıralanmış ve PD/DD en küçük şirket 30 puan, en büyük oranlı şirkete de 1 puan verilmiştir. Benzer şekilde kalan puanlar da diğer şirketlere sıralamasına göre dağıtılmıştır. Daha sonra, listede gösterilen 30 şirket F/K değerleri açısından küçükten büyüğe sıralanmış ve F/K değeri en küçük şirkete 30 puan, en büyük oranlı şirkete de 1 puan verilmiştir. Benzer şekilde kalan puanlar da diğer şirketlere sıralamasına göre dağıtılmıştır. PD/DD ve F/K oranları yerine kullanılmak üzere önerilen yeni puanlama sistemiyle elde edilmiş olan Faktör(PD/DD) ve Faktör(F/K) değerleri Tablo 4'e eklenmiştir.

Finans uygulamalarında ve öğretim alanında yaygın olarak, şirket değerlemesinde PD/DD oranına göre analizler yapılmaktadır. Yatırımcılar arasında PD/DD oranı 1'den büyükse şirket pahalı, 1'den küçükse ucuzdur görüşü oldukça yaygındır. Son yıllarda şirketlerin kârlılık durumları daha da önem kazanmış ve yatırımcılar şirketin kaç yıllık kârı ile yatırımlarını amorti edebilecekleri kavramına yani F/K'ya önem vermeye başlamışlardır. Bu durumda, finans uzmanları bir şirketin değeri ile görüş bildirirken hem PD/DD hem de F/K oranlarını vererek analizler yapmaktadır. Ayrıca finans alanındaki paydaşlara veri sağlayan bilgisayar programlarında da bu iki oran öncelikli olarak verilmektedir. Çalışmada, bu iki oranı birlikte kullanarak portföy oluşturmak amaçlanmıştır. Burada karar verilmesi gereken husus, bu iki oranın hangi ağırlık ile işleme alınacağına belirlenmesi gerekliliğidir. Bankaların ve menkul kıymet aracı kurumlarının uzmanları ile yaptığımız röportajlar sonunda, geçerliliği daha etkin olan PD/DD faktörünün %70 ve F/K için ise %30 ağırlık verilerek analizlere devam edilmesi piyasadaki işleyişe uygun olduğu görülmüştür.

Faktörler Puanı= $\%70 \times \text{Faktör(PD/DD)} + \%30 \times \text{Faktör(F/K)}$ formülü kullanılarak her bir şirketin PD/DD ve F/K finansal oranlarından aldığı faktörler puanı bulunmuştur. Her bir şirketin faktörler puan değeri toplam faktörler puan değerine bölünerek her bir şirketin yüzde alan değeri hesaplanmıştır. Bu şirketlerin alan değerlerine göre şirketler büyükten küçüğe doğru sıralanıp ilgili veriler Tablo 4'de verilmiştir. Son sütunda her bir şirketin birikimli yüzde alan değerleri verilmiştir. Anlamı, alan değeri ne kadar yüksek ise ilgili hissenin portföyde yer alması şansı o kadar yüksek olacaktır.

Tablo 4. BİST 30 hisse senetleri faktör ağırlığı (Factor weight of BIST 30 stocks)

NO	HİSSE KODU	PD/DD	FAKTÖR (PD/DD)	F/K	FAKTÖR (F/K)	FAKTÖRLER PUANI	ALAN	BİRİKİMLİ ALAN
27	ISCTR	0,35	28	3,11	28	28	%6,0	%6,0
22	THYAO	0,4	27	0,1	30	27,9	%6,0	%12,0
28	VAKBN	0,28	29	4,16	23	27,2	%5,8	%17,9
1	AKBNK	0,42	26	3,8	25	25,7	%5,5	%23,4
30	YKBNK	0,42	25	3,46	27	25,6	%5,5	%28,9
17	SAHOL	0,52	23	3,6	26	23,9	%5,1	%34,0
26	HALKB	0,26	30	11,41	6	22,8	%4,9	%38,9
6	EKGYO	0,49	24	5,49	18	22,2	%4,8	%43,7
9	GARAN	0,56	22	4,48	22	22	%4,7	%48,5
5	DOHOL	0,71	21	4,79	21	21	%4,5	%53,0
29	VESTL	0,99	18	4	24	19,8	%4,3	%57,2
19	SISE	1,02	17	6,04	15	16,4	%3,5	%60,8
21	TKFEN	0,8	20	10,37	8	16,4	%3,5	%64,3
12	KCHOL	1,13	16	5,69	17	16,3	%3,5	%67,8
15	PGSUS	1,71	10	0,1	29	15,7	%3,4	%71,2
14	KOZAA	1,49	14	6	16	14,6	%3,1	%74,3
11	KRDMD	1,64	12	4,88	20	14,4	%3,1	%77,4
20	TAVHL	0,86	19	109,68	1	13,6	%2,9	%80,3
16	PETKM	1,7	11	5,21	19	13,4	%2,9	%83,2
7	EREGL	1,49	15	8,28	9	13,2	%2,8	%86,0
2	ARCLK	1,51	13	6,51	13	13	%2,8	%88,8
25	TCELL	1,72	9	7,35	11	9,6	%2,1	%90,9
13	KOZAL	1,79	8	6,95	12	9,2	%2,0	%92,9
24	TTKOM	2,1	6	6,3	14	8,4	%1,8	%94,7
3	ASELS	1,9	7	7,41	10	7,9	%1,7	%96,4
23	TUPRS	2,88	5	39,48	4	4,7	%1,0	%97,4
4	BIMAS	6,71	4	12,92	5	4,3	%0,9	%98,3
8	FROTO	9,55	2	10,91	7	3,5	%0,8	%99,1
18	SASA	9,31	3	43,58	3	3	%0,6	%99,7
10	GUBRF	12,43	1	54	2	1,3	%0,3	%100
	TOPLAM					465	%100	

Tablo 5'de hisse senetlerine karşılık gelen rassal sayı aralık değerleri verilmiştir.

Tablo 5. Rassal sayı aralık tablosu (Random number range table)

NO	HİSSE ADI	RASSAL SAYI ARALIĞI		NO	HİSSE ADI	RASSAL SAYI ARALIĞI	
1	ISCTR	0,00	5,99	16	KOZAA	71,20	74,29
2	THYAO	6,00	11,99	17	KRDMD	74,30	77,39
3	VAKBN	12,00	17,89	18	TAVHL	77,40	80,29
4	AKBNK	17,90	23,39	19	PETKM	80,30	83,19
5	YKBNK	23,40	28,89	20	EREGL	83,20	85,99
6	SAHOL	28,90	33,99	21	ARCLK	86,00	88,79
7	HALKB	34,00	38,89	22	TCELL	88,80	90,89
8	EKGYO	38,90	43,69	23	KOZAL	90,90	92,89
9	GARAN	43,70	48,49	24	TTKOM	92,90	94,69
10	DOHOL	48,50	52,99	25	ASELS	94,70	96,39
11	VESTL	53,00	57,19	26	TUPRS	96,40	97,39
12	SISE	57,20	60,79	27	BIMAS	97,40	98,29
13	TKFEN	60,80	64,29	28	FROTO	98,30	99,09
14	KCHOL	64,30	67,79	29	SASA	99,10	99,69
15	PGSUS	67,80	71,19	30	GUBRF	99,70	100,00

Birinci aşama Monte Carlo simülasyon çalışmasında, 0 ile 100 arasında rastgele sayı üretilerek şirketlerin yüzde alan değerlerine karşılık gelen atamalar bulunmuştur. Bu deney 1000 kez tekrarlanmış ve en çok gözlemlenen şirket portföye dahil edilmiştir. Yani her bir 1000 tekrarlı deneyden bir şirket seçilmiştir. Tablo 6'da örnek rassal sayı oluşturma tablosu verilmiştir.

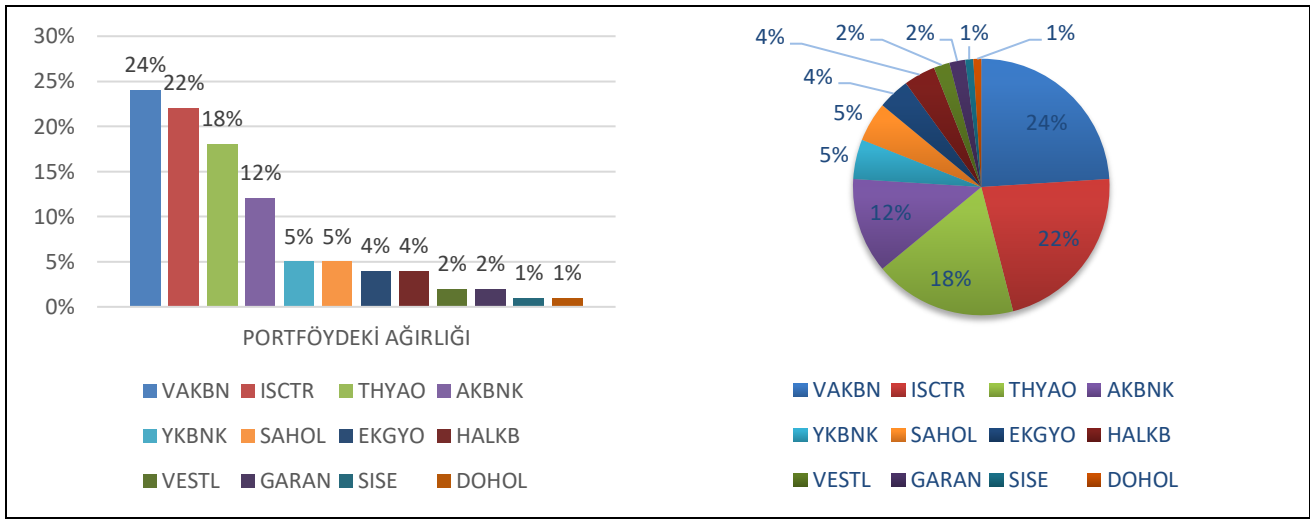
Tablo 6. Örnek rassal sayı oluşturma (Sample random number generation)

ATIŞ NO	RASSAL SAYI	HİSSE KODU	ATIŞ NO	RASSAL SAYI	HİSSE KODU
1	82,44	PETKM	11	53,38	VESTL
2	65,75	KCHOL	12	4,52	ISCTR
3	21,02	AKBNK	13	75,42	KRDMD
4	83,06	PETKM	14	2,92	ISCTR
5	79,79	TAVHL	15	66,94	KCHOL
6	24,57	YKBNK	16	24,17	YKBNK
7	77,18	KRDMD	17	34,97	HALKB
8	96,6	TUPRS	18	75,08	KRDMD
9	64,13	TKFEN	19	58,84	SISE
10	33,13	SAHOL	20	71,95	KOZAA

Monte Carlo simülasyonu ikinci aşamasında, birinci aşamada yapılan çalışma 100 kez tekrarlanmış her bir deney setinde en çok gözlemlenen şirketler belirlenmiştir. Dolayısıyla portföyün yüzde yüzünü oluşturan hisse ağırlıkları bulunmuştur. Örneğin; VAKBN, 100 deneyin 24 tanesinde en çok gözlemlenen hisse senedi olmuştur. Monte Carlo simülasyonu ikinci aşama sayesinde rassallık her yeni deneyde tekrar sağlanmıştır. Portföyü oluşturan hisse senedi ağırlık değerleri Tablo 7'de sunulmuştur. Tabloda da görüldüğü gibi tüm hisseler yatırım önerilmemiş sadece 12 hisse portföyde yer almıştır. Sadece birinci aşama Monte Carlo simülasyon metoduyla yatırım kararı verilseydi, bütün hisseler portföyde yer alabilecekti. Önerilen metot sayesinde portföydeki menkul kıymet sayısı azaltılmıştır. Bu durumda yatırımcı daha az işlem maliyetine katlanacaktır. Ayrıca, yatırımcı açısından daha az sayıda hisse senedinden oluşturulan portföyün yönetimi daha etkin olacaktır.

Tablo 7. Portföy hisse senedi ağırlıkları (Portfolio stock weights)

NO	HİSSE KODU	PORTFÖYDEKİ AĞIRLIĞI	NO	HİSSE KODU	PORTFÖYDEKİ AĞIRLIĞI
1	VAKBN	%24	16	KOZAA	%0
2	ISCTR	%22	17	KRDMD	%0
3	THYAO	%18	18	TAVHL	%0
4	AKBNK	%12	19	PETKM	%0
5	YKBNK	%5	20	ARCLK	%0
6	SAHOL	%5	21	TCELL	%0
7	EKGYO	%4	22	KOZAL	%0
8	HALKB	%4	23	TTKOM	%0
9	VESTL	%2	24	ASELS	%0
10	GARAN	%2	25	TUPRS	%0
11	SISE	%1	26	BIMAS	%0
12	DOHOL	%1	27	FROTO	%0
13	TKFEN	%0	28	SASA	%0
14	KCHOL	%0	29	GUBRF	%0
15	PGSUS	%0	30	EREGL	%0

**Şekil 6.** Portföy hisse senedi dağılım grafikleri (Portfolio stock distribution graph)

Şekil 6'da portföydeki hisse senetlerinin dağılımı grafik olarak gösterilmiştir. Önerilen portföyün %70'ini bankacılık hisseleri, %18'ini Türk Hava Yolları ve geri kalan %12'lik kısmını da holding ve sanayi şirketleri oluşturmaktadır.

Tablo 8. Portföy hisse senedi getirileri (Portfolio stock return)

NO	HİSSE KODU	HİSSE AĞIRLIĞI	FİYAT (3.01.2022)	FİYAT (31.12.2022)	PORTFÖY GETİRİ
1	BİST-30	%100	2108.74	5945.31	%182
2	BİST-100	%100	1926.31	5508.22	%186
3	VAKBN	%24	3.68	11.9	%53.6
4	ISCTR	%22	3.32	12.76	%62.6
5	THYAO	%18	21.8	140.8	%98.3
6	AKBNK	%12	7.32	19.55	%20.0
7	YKBNK	%5	3.46	11.8	%12.1
8	SAHOL	%5	13.7	45.02	%11.4
9	EKGYO	%4	2.23	8.72	%11.6
10	HALKB	%4	4.64	13.31	%7.5
11	VESTL	%2	26.55	71.4	%3.4
12	GARAN	%2	11.46	30.06	%3.2
13	SISE	%1	13.84	42.96	%2.1
14	DOHOL	%1	2.83	10.57	%2.7
15	PORTFÖY	%100			%289

Tablo 8'de BİST-30, BİST-100 endeks değerleri ve önerilen portföyün 03 Ocak 2022 ve 31 Aralık 2022 dönemi sonundaki getirileri gösterilmiştir. Sırasıyla BİST-30, BİST-100 endekslerinin %182 ve %186 getirilerine karşılık

önerilen portföy %289 getiri sağlamıştır. Önerilen portföyün getiri performansı, referans kabul edilebilecek Borsa İstanbul endeks getirilerinin oldukça üzerindedir.

5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

İşletmeler kazanç sağlamak için farklı yatırım araçlarından portföy oluşturmaktadır. Portföy oluşturma yöntemleri geleneksel ve modern yöntemler olarak ikiye ayrılmaktadır. Bu çalışmada modern yöntemlerden biri olan Monte Carlo simülasyonu uygulanmıştır. Hisse senedi seçiminde finansal oranlar kullanılarak portföyler elde edilmiştir. Borsa İstanbul'da faaliyet gösteren 30 büyük şirket üzerinde çalışma yapılmıştır. Firmalar bankacılık, holding, ağır sanayi, telekomünikasyon ve havacılık sektörlerindedir. Bu şirketler Türkiye ekonomisinin öncü şirketleridir ve verileri ekonomik durum hakkında daha gerçekçi bilgiler sunmaktadır.

Çalışmanın ana teması, yatırımcılar açısından PD/DD ve F/K oranlarının şirketlerin getirisi üzerindeki etkilerini araştırmaktır. Önerilen puanlandırma sistemine göre PD/DD ve F/K oranları düşük olan şirketlere öncelik verilmektedir. Monte Carlo simülasyonu sonucunda da beklenildiği üzere, portföyde bu özelliklere sahip şirketlerin ağırlıklı olarak yer aldığı görülmüştür. Sonuçlar incelendiğinde, önerilen portföyün yarısından fazlasını bankacılık sektörünün oluşturduğu ve daha az oranlarda holding ve sanayi hisselerinin portföyde olduğu görülmektedir. Ayrıca, Türk Hava Yolları da %18 oranında önerilen portföyde yer almaktadır. Monte Carlo simülasyon metodu ile elde edilen portföy BİST-30 endeksinden %107 ve BİST-100 endeksinden de %103 daha fazla kazanç sağlamıştır. Sonuç olarak, Monte Carlo simülasyon yaklaşımıyla yatırımcıların daha etkin portföyler elde edebileceği kararına varılmıştır.

Bu çalışmanın sonucuna göre Monte Carlo simülasyonu belirsizlik içeren konularda karar vermeye yardımcı olarak uygulanabilir ve belirsizlik durumlarında tahmin amaçlı kullanılabilir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

Kaynaklar (References)

- Acar, E., Durucasu, H., 2014. Özel Sektör Şirketleri İçin Yid İhale Probleminin Çok Amaçlı Optimizasyonu. *Alphanumeric Journal*, 2(2), 36-49.
- Akgüç, Ö., 1991. Kredi Taleplerinin Değerlendirilmesi, *Avciol Basın-Yayın*, 5.Baskı, İstanbul.
- Aktan, B., 2007. Ticari Bankalarda Risk Yönetimi Ve Monte Carlo Simülasyon Yöntemiyle Portföy Riskinin Hesaplanması (Doktora Tezi, Adnan Menderes Üniversitesi).
- Altay, E. 2009. Petrol Fiyatlarından Kaynaklanan Riskin Tahmin Edilmesi: Monte Carlo Simülasyonu Yöntemiyle Rmd Yaklaşımı. *İstanbul Üniversitesi İktisat Fakültesi Mecmuası*, 59(2), 61-84.
- Aygören, H., İlem, M., 2010. Türkiye'de Özelleştirme Sonrası Araç Muayene İstasyonları Sermaye Bütçelemesinin Monte Carlo Simülasyonu Yöntemi İle Analizi. *Muhasebe Ve Finansman Dergisi*, (48), 75-88.
- Çolakyan, A., Yıldırım, H., 2014. Finansal Yatırım Araçlarında Riske Maruz Değer Uygulaması.
- Aygören, H. 2006. İmkb-100 Endeks Davranışının Monte Carlo Simülasyonu İle İncelenmesi. *Muhasebe ve Finansman Dergisi*, (29), 197-205.
- Başar, A. C., 2019. Dünyada ve Türkiye'de benzetim kullanım analizi: Türkiye için bir değerlendirme (Master's thesis, Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Büberkökü, Ö. 2018. Ekstrem Değerler Teorisi Ve Monte Carlo Simülasyonu: Gelişen Ülke Döviz Kurları Üzerine Bir Uygulama. *İstatistikçiler Dergisi: İstatistik Ve Aktüerya*, 11(2), 121-142.
- Büberkökü, Ö. 2022, February 25-26. Metaverse Coin'lere Dayalı Finansal Analizler, *International Izmir Economics Congress*.
- Chen, N., Hong, L.J., 2007. December. Monte Carlo Simulation In Financial Engineering. In *2007 Winter Simulation Conference* (Pp. 919-931).
- Cinar, A.C., 2020. Training Feed-Forward Multi-Layer Perceptron Artificial Neural Networks With A Tree-Seed Algorithm. *Arabian Journal For Science And Engineering* 45(12): 10915-10938.
- Cinar, A.C., 2021. Analyzing The Effects Of Random Number Generators On Artificial Gorilla Troops Optimizer In Solving Gear Train Design Problem. *International Conference On Engineering Technologies (Icente'21)*, Konya, Turkey.
- Civan, M., 2010. Sermaye Piyasası Analizleri Ve Portföy Yönetimi, Bursa: Ekin Kitabevi, 1. Baskı.
- Demiguel, V., 2009, Optimal Versus Naive Diversification: How Inefficient Is The 1/N Portfolio Strategy, *The Review Of Financial Studies*, 22(5), 1916-1953.
- Demirdöğen, O., 1998. Talep Tahmininde Monte-Carlo Simülasyon Tekniğinin Kullanılması. *Atatürk Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Dergisi*, 12(1-2).
- Deniz, D., 2014, Portföy Yönetiminde Uluslararası Çeşitlendirme Ve Bir Türkiye Uygulaması, *İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul.
- Dırk, P.M.D.W., 1998. Naive Diversification, *Financial Analysts Journal*, 54(4), 95-100.
- Du, X., 2015. Monte Carlo Simulation. In *Probabilistic Engineering Design* (Pp. 1-16).

- Fabozzi, F.J., Gupta, F., Markowitz, H.M. 2002, The Legacy Modern Portfolio Theory, The Journal Of Investing, 11(3), 7-22.
- Hañcerliođlu, A., 2006. Monte Carlo Simülasyon Metodu Ve Mcnp Kod Sistemi. Kastamonu Eğitim Dergisi, 14(2), 545-556.
- İç, Y.T., et al., 2015. Kurumsal Firmalar İçin Bir Finansal Performans Karşılaştırma Modelinin Geliştirilmesi. Journal of the Faculty of Engineering & Architecture of Gazi University 30.1.
- Jonson, C., Larsson, A., 2014. The Benefits Commodity Futures- An Investigation From Perspective Of Swedish And Norwegian Investor, Copenhagen Business School, Master Thesis, M.Sc. Applied Economics And Finance, Copenhagen.
- Kalicharan, N., 2013. Random Numbers, Games, And Simulation. Advanced Topics In C, Springer: 159-182.
- Kamu Aydınlatma Platformu (Kap), 07 Ekim 2021. BİST-30 Endeks Hisseleri, www.kap.org.tr/tr/endeksler
- Karan, M.B. 2021, Yatırım Analizi Ve Portföy Yönetimi, Ankara: Gazi Kitabevi, 7. Baskı.
- Kartaloğlu, A. S. 2010. Riske Maruz Değer Ve Finans Sektörü Üzerine Bir Araştırma (Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi (Turkey)).
- Kaya, E., Et Al., 2021. Debohid: A Differential Evolution Based Oversampling Approach For Highly Imbalanced Datasets. Expert Systems With Applications 169: 114482.
- Kendall, M.G., And B. B. Smith 1938. Randomness And Random Sampling Numbers. Journal Of The Royal Statistical Society 101(1): 147-166.
- Korkmaz, T., Nurhan, A., Sayılğan, G., 2013, Portföy Yönetimi, Eskişehir: Anadolu Üniversitesi Yayını.
- Kesur, K. B., 2009. Advances In Genetic Algorithm Optimization Of Traffic Signals. Journal Of Transportation Engineering 135(4): 160-173
- Markowitz, H., 1952. "Portfolio Selection" Journal Of Finance, 7(1):77-91.
- Mendeş, M., 2005. Uygun Simülasyon Sayısının Belirlenmesi: Monte Carlo Simülasyon Çalışması. Journal Of Agricultural Sciences, 11(01), 12-15
- Mora, M. A., Franco, J.B., Preciado, L. B. 2010. Optimal Portfolio Allocation For Latin American Stock Indices, Cuad. Adm. Bogotá (Colombia) Enero-Junio De, 23(40): 191-214.
- Sakarya, Ş., Akkuş, H.T., 2017. Türk Bankacılık Sektöründeki Katılım Bankalarının Finansal İstikrarının Stres Testi Yöntemi İle Analizi. Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 20(38), 215-234.
- Sokolowski, J.A., 2010. Monte Carlo Simulation. Modelling and Simulation Fundamentals: Theoretical Underpinnings and Practical Domains, Wiley - Sons Inc., New Jersey, 131-145.
- Staum, J., 2002, December. Simulation In Financial Engineering. In Proceedings Of The Winter Simulation Conference (Vol. 2, Pp. 1481-1492).
- Şener, C., Şener, U., 2019. Monte Carlo Simülasyonu İle Hisse Senedi Fiyat Tahminleri. Beykoz Akademi Dergisi, 7(2), 294-306.
- Taş, O., İltüzzer, Z., 2008. Monte Carlo Simülasyon Yöntemi İle Riske Maruz Değerın İmkb30 Endeksi Ve Dibs Portföyü Üzerinde Bir Uygulaması. Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 23(1), 67-87.
- Tercan, E., Türker, M., (2008). Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası Mali Tablolarının Analizi ve Mali Tablo Kalemleri ile Genel Ekonomik Parametreler Arasındaki İlişkiler (Yüksek Lisans Tezi, TC İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul).
- Weidenmüller, H., Mitchell, G., 2009. Random Matrices And Chaos In Nuclear Physics: Nuclear Structure. Reviews Of Modern Physics 81(2): 539.



POLİMER BAĞLAYICILI HAFİF BETONLARIN FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Ali Nadi KAPLAN^{1*}, Cengiz ÖZEL¹

¹ Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Polimer Beton, Hafif Beton, Pomza, Genleştirilmiş Perlit, Fiziksel Özellikler, Mekanik Özellikler.</i>	<p>Bu çalışmada, polimer bağlayıcı olarak vinilester reçine ve hafif agrega olarak pomza ile geliştirilmiş perlit agregalarının kullanıldığı polimer beton kompozitleri üretilmiştir. Beton karışımlarında kullanılan agregalar hacimce %0, %15, %30 ve %45 oranlarında belirlenmiş ve belirlenen karışım oranlarında üretilen polimer beton numuneleri üzerinde bir dizi deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda polimer beton numunelerinin teorik yoğunlukları ile görünür yoğunlukları karşılaştırılmış, boyuna dalga hızı deneyi yapılmıştır. Numunelerin mekanik özellikleri için eğilme ve basınç deneyleri yapılarak polimer betonların dayanımları belirlenmiştir. Mekanik ve fiziksel özelliklerin kullanılan agrega tipine ve oranına göre değiştiği ortaya çıkmıştır. Her iki agregalı polimer beton serileri incelendiğinde pomza kullanılarak üretilen numunelerin eğilme ve basınç dayanımlarının geliştirilmiş perlit kullanılarak üretilen numunelerden daha yüksek değerlerde olduğu görülmüştür. Çalışmada en yüksek dayanım değerlerini %30 pomza agregası kullanılarak üretilen polimer beton numuneleri sağlamıştır. Bu numunelerde eğilme dayanımı 44 MPa, basınç dayanımı 122 MPa'dır. Son olarak agrega oranının artışına bağlı olarak eğilme dayanımları pomzalı serilerde önce artıp sonra azalışa geçmişken, geliştirilmiş perlitli serilerde azalış göstermiştir. Basınç dayanımları ise her iki agregalı serilerde de önce artmış daha sonra azalışa geçmiştir.</p>

INVESTIGATION OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF LIGHTWEIGHT CONCRETES WITH POLYMER BINDERS

Keywords	Abstract
<i>Polymer Concrete, Lightweight Concrete, Pumice, Expanded Perlite, Physical Properties, Mechanical Properties.</i>	<p>In this study, polymer concrete composites were produced using vinylester resin as polymer binder and pumice and expanded perlite aggregates as lightweight aggregate. Aggregates used in concrete mixtures were determined as 0%, 15%, 30% and 45% by volume. A series of experimental studies were carried out on polymer concrete samples produced at the determined mix ratios. In this context, the theoretical and apparent densities of the polymer concrete samples were compared and compressional wave velocity tests were performed. The strengths of polymer concretes were determined by performing flexural and compressive tests for the mechanical properties of the samples. Mechanical and physical properties were found to vary depending on the type and ratio of aggregate used. When the polymer concrete series with both aggregates were examined, it was observed that the flexural and compressive strengths of the samples produced using pumice were higher than the samples produced using expanded perlite. Polymer concrete samples produced using 30% pumice aggregate provided the highest strength values in this study. These samples had a flexural strength of 44 MPa and a compressive strength of 122 MPa. Finally, depending on the increase in aggregate ratio, the flexural strengths first increased and then decreased in the pumice series, while it decreased in the expanded perlite series. Compressive strengths first increased and then decreased in both aggregate series.</p>

* İlgili yazar / Corresponding author: nadikaplan@isparta.edu.tr, +90-246-214-6781

Alıntı / Cite

Kaplan, A.N., Özel, C., (2023). Polimer Bağlayıcılı Hafif Betonların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(4), 1475-1485.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

A. N. Kaplan, 0000-0002-0433-7386

C. Özel, 0000-0002-2715-1680

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date 12.06.2023

Revizyon Tarihi / Revision Date 11.09.2023

Kabul Tarihi / Accepted Date 09.10.2023

Yayın Tarihi / Published Date 30.12.2023

INVESTIGATION OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF LIGHTWEIGHT CONCRETES WITH POLYMER BINDERS

Ali Nadi Kaplan^{1†}, Cengiz ÖZEL¹

¹ Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

Highlights

- The physical and mechanical properties of lightweight concretes with polymer binders were determined.
- The experiments were carried out on seven different samples.
- The effects of different aggregate usage on the performance of polymer concretes were revealed.
- Aggregate ratio variation affected the experimental results.

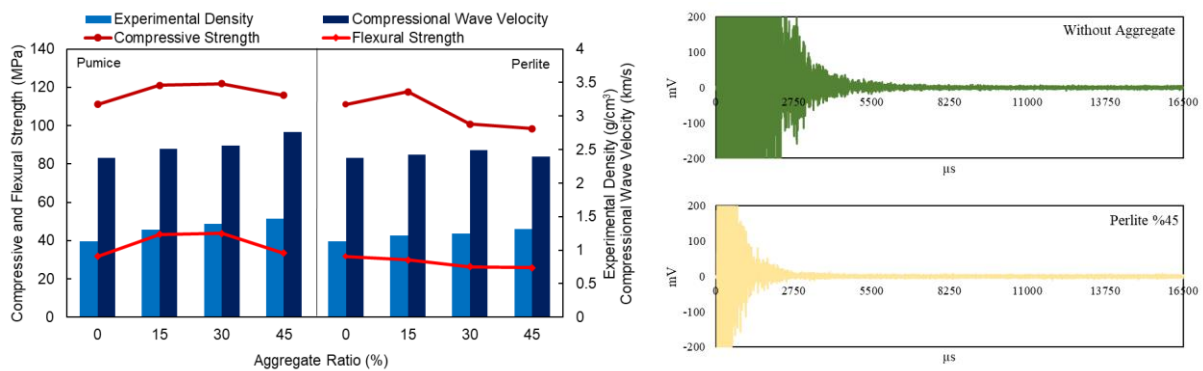
Graphical Abstract

Figure. All experimental results of lightweight concretes with polymer binders.

Purpose and Scope

It has been observed that there are not enough studies on the use of lightweight aggregate materials in polymer concretes. For this reason, it is aimed to investigate the effects of the use of different lightweight aggregates at various rates on polymer concrete performance.

Design/methodology/approach

Experimental studies were carried out to determine the relationship of changing aggregate parameters to polymer concrete performance. With these experimental studies, the engineering properties of lightweight aggregate polymer concretes were determined.

Findings

As a result of the experimental analysis, it was concluded that lightweight aggregates could be used in polymer concretes. In addition, it was found that the use of pumice aggregate had a positive effect on mechanical properties compared to expanded perlite aggregate.

Originality

The results obtained from the study will shed light on future studies on lightweight concretes with polymer binders. In addition, the findings obtained from the study can also be used in the field of civil engineering.

[†] Corresponding author: nadikaplan@isparta.edu.tr, +90-246-214-6781

1. Giriş (Introduction)

Gelişen yaşam koşulları beraberinde yeni yapı malzemelerinin kullanımını kaçınılmaz hale getirmiştir. Bu açıdan günümüzde farklı amaçlar için kullanılan yapı malzemelerinin çeşitliliği geniş bir yelpazeye yayılmıştır. Kullanılan bu yapı malzemelerini daha da geliştirmek, üretim yöntemlerini ve teknik özelliklerini iyi belirlemekten geçmektedir.

Kompozit malzemeler yapı malzemeleri çeşitliliği içerisinde önemli bir yer tutmaktadır. Birbirinden farklı özelliklere sahip iki veya daha fazla malzemenin fiziksel olarak karıştırılması veya birleştirilmesi yoluyla üretilen, mevcut bileşenlerin tek başına sahip olmadığı daha üstün özellikli yeni bir malzeme olarak tanımlanmaktadır. Kısaca birden fazla malzemeyle kullanım amacı ve ihtiyaçlara uygun olarak yeni bir malzeme ortaya çıkarmaktır (Pişkin, 2010).

Çimento, su, agrega ve gerektiğinde katkı maddelerinin belirli şartlar ve oranlarda karıştırılmasıyla elde edilen geleneksel beton, inşaat endüstrisinde en yaygın olarak kullanılan kompozit yapı malzemesidir (Özel, 2007). Beton var olan birçok özelliğinden dolayı, inşaat mühendisliği alanında kullanılan en popüler malzemelerden biri olsa da düşük çekme ve eğilme mukavemetleri, zayıf dayanıklılık, yüksek gözeneklilik ve asidik ortamlara karşı savunmasızlık gibi eksikliklere de sahiptir (Toufigh vd., 2016).

Geleneksel betonlara alternatif sunması açısından polimerik malzemelerin betonda olumlu etkilere sahip olacağı düşüncesiyle son zamanlarda pek çok araştırma yapılmıştır (Şimşek ve Uygunoğlu, 2016).

Polimer betonlar, polimerlerin beton üretiminde kullanılan çimento bağlayıcısının tümü veya bir kısmı yerine kullanılması ile elde edilmektedir (Özden, 2010). Yani polimer beton, faz malzeme ile polimerin karıştırılıp, daha sonra katalizör ve sertleştirici eklenmesiyle polimerizasyon işleminin gerçekleşmesi sonucu, karışımın katılaşması ile elde edilen kompozit bir yapı malzemesidir (Baydar, 2016).

Polimer bağlayıcılı betonlar geleneksel betonlara kıyasla sağlamlık, esneklik, hafiflik, çevre şartlarına dayanıklılık, agresif kimyasallara direnç, darbe dayanımı, sertlik, ısıl genişleme katsayıları, yorulma, çatlama ve kırılma, çekme, eğilme dayanımları vb. özelliklerinden dolayı tercih edilmektedirler. Söz konusu bu özelliklerinden dolayı polimer betonlar çelik ve beton yüzeyler için inşaat ve onarım çalışmalarında yaygın olarak kullanılan bir yapı malzemesidir (Topsakal, 2013; Douba vd., 2017).

Polimer betonların yapısında en çok kullanılan matris malzemeler; epoksi, polyester, vinilester, fenolik ve silikon reçineli matrislerdir (Soykan vd., 2015). Polimer betonlarda matris malzemelerin yanı sıra faz malzeme olarak da agrega ve/veya fiber malzemeler kullanılabilir.

Betonlarda faz malzeme olarak kullanılacak olan agregalar birim hacim ağırlıklarına göre hafif ve ağır agrega olarak kategorize edilmektedir. Bu agregaların betonlarda kullanımını düşündüğümüz zaman çeşitli avantajlar sağlamakla birlikte birtakım olumsuzluklara da sebebiyet verebilmektedir (Gökçe vd., 2010).

Hafif agregalar, doğal ve yapay agrega olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Doğal hafif agregalar volkanik kayaların veya tortul taşların kırılmasıyla elde edilen agregalardır. Yapay hafif agregalar ise doğal taşların ısı işlem görmesi sonucunda veya endüstriyel atıklar sonucunda elde edilen agregalardır. Pomza, volkanik tüf, volkanik cüruf gibi agregalar doğal hafif agregalara, genişletilmiş kil, genişletilmiş perlit, vermikülit gibi agregalar ise yapay hafif agregalara örnek verilmektedir (Chandra ve Berntsson, 2002; Yolcu, 2017; Sağlam, 2022).

Taşıdığı yüke oranla ağır bir malzeme olan betonun yapı üzerine etkidiği ölü yüklerini ve dolayısıyla deprem etkilerini azaltması, yapısal hafif betonun üretilmesiyle mümkün olmaktadır. Hafif yapı malzemeleri, binanın ölü yükünü azaltmasından dolayı, bina hafifletmekte, binanın taşıyıcı sistem elemanlarının kesitlerinde meydana gelen küçülme ise maliyetlerin önemli oranda azalmasına neden olmaktadır. Bu da işçilik ve zamandan tasarruf sağlaması nedenleriyle, özellikle çok katlı ve büyük açıklıklı yapılarda çevrenin daha az kirlenmesine neden olmaktadır. Tüm bunlara ek olarak hafif yapı malzemelerinin yüksek oranda su emme ve yüksek porozite değerleri handikap gibi görünse de hem ses hem de ısı ve yangın yalıtımında üstün özelliklerinin bulunması, enerji maliyetlerindeki artış ve yasal düzenlemelerin yalıtımı zorunlu hale getirmesiyle inşaat sektöründe yaygın olarak kullanılmasının sebepleri olarak sıralanmaktadır. (Subaşı, 2009; Beycioğlu vd., 2010; Kozak ve Ünal, 2010; Davraz vd., 2011; Çelik vd., 2014; Kılınçarslan vd., 2018; Akyüncü, 2019; Gençten ve Gül, 2019; Fidan vd., 2020; Davraz vd., 2021; Kılıçaltan, 2021; Toprak, 2021; Yıldırım, 2021).

Sonuç olarak, polimer betonların günümüz teknolojisinde ve gelecek dönemlerde kullanımının inşaat mühendisliği açısından büyük bir öneme sahip olacağı aşikardır. Bu açıdan kompozit bir malzeme olan polimer

betonların kendine özgü mühendislik özelliklerin bilinmesi gerekmektedir. Bununla birlikte matris malzeme olarak kullanılan reçine türü ile faz malzemesi olarak kullanılan agregaların özellikleri ve bileşenlerin karışım oranları performansa etki etmektedir. Literatür incelendiğinde, hafif agrega malzemelerin polimer betonlarda kullanımı üzerine yeter düzeyde araştırma çalışmaları görülmemektedir.

Bu sebeple, bu çalışmada polimer bağlayıcı olarak vinilester reçine ile birlikte hafif agrega olarak pomza ve geliştirilmiş perlit agregaları kullanılarak üretilen polimer beton kompozitlerinin fiziksel ve mekanik özellikleri araştırılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Çalışma kapsamında üretilen polimer beton numuneleri üzerinde bir dizi deneysel çalışma yürütülmüştür. Bu kapsamda polimer betonların taze haldeki kıvamları göz önünde bulundurularak ve üretimde bir standardın sağlanması amacıyla, numunelerde kullanılan en büyük agrega tane boyutu 150 µm olacak şekilde optimum agrega oranları reçineye göre hacimce %0 - %15 - %30 - %45 olarak belirlenmiştir. Agregaların 150 µm altı boyuta getirilmesi süreçlerinde pomza agregası önce çeneli kırıcıda kırılmış sonra bilyeli değirmende öğütülerek eleme işlemine tabi tutulmuştur. Geliştirilmiş perlit agregası ise doğrudan öğütme işlemine alınmış ve sonrasında eleme işlemi ile boyutlandırılmıştır.

2.1. Malzemeler ve Özellikleri (Materials and Properties)

Polimer beton üretiminde bağlayıcı polimer malzeme olarak Poliya marka Polives 701-TA Bisfenol-A epoksi vinilester reçine kullanılmıştır. Vinilester reçine seçilmesindeki temel sebep yüksek kimyasal ve mekanik dayanımın yanı sıra gıda temasına da uygun olduğu için insan sağlığına olumsuz etkide bulunmamasıdır. Vinilester reçinenin teknik özellikleri ise Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Vinilester reçinesinin fiziksel ve mekanik özellikleri (Physical and mechanical properties of vinilester resin)

Parametreler	Değer
Yoğunluk	1.044 g/cm ³
Viskozite	600 – 800 cps
Monomer Oranı	%41 - %44
Çekme Dayanımı	80 MPa
Eğilme Dayanımı	160 MPa
Barkol Sertliği	35

Türkiye'nin değişik yörelerinde farklı karakteristik özelliklere sahip birçok pomza türü mevcuttur. Isparta Karakaya pomzasının feldspat, sanidin, amfibol ve piroksen gibi abrasif mineralleri daha fazla içerdiği ve daha gözenekli bir yapıya sahip olduğu ve bazik bir pomza olduğu bilinmektedir (Kılınc Aksay, 2016). Çalışmada kullanılan Isparta-Karakaya pomzası Isparta Belediyesi Bims Yapı Elemanları San. ve Tic. A.Ş. (ISBAŞ) bünyesinde bulunan ISBAŞ Bimsblok Fabrikasından temin edilmiştir. Polimer beton numuneleri üretiminde kullanılacak bir diğer hafif agrega olan geliştirilmiş perlit ise Pomza Export Madencilik San. ve Tic. A.Ş. İzmir ili Menderes ilçesi fabrikasından temin edilmiştir. Her iki agreganın da teknik özellikleri Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 2. Hafif agregaların fiziksel ve kimyasal özellikleri (Physical and chemical properties of lightweight aggregates)

Bileşen	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	TiO ₂	Özkütle (g/cm ³)
Ağırlıkça Pomza	58.88	18.74	5.93	2.95	4.25	3.66	2.16	0.45	2.480
Yüzde (%) Geliştirilmiş Perlit	73	14	0.98	0.12	0.35	0.13	3.45	4.50	2.300

2.2. Deneysel Çalışma (Experimental Study)

Polimer betonların görünür yoğunluklarını belirlemek için üretilen her karışımdaki numunelerin kuru kütle, suya doygun kütle ve Arşimet terazisi ile sudaki kütleleri ölçülmüştür. Ölçüm TS EN 12390-7 standardındaki tel sepet metodu kullanılarak yapılmış, hesaplamalarda kullanılan denklem aşağıda gösterilmiştir.

$$\rho_{pc} = \rho_w \frac{M_0}{M_1 - M_2} \quad (1)$$

Burada;

- ρ_{pc} : Polimer betonların görünür yoğunluğu
 ρ_w : Suyun ölçüm sıcaklığındaki yoğunluğu
 M_0 : Numunenin kuru kütlesi
 M_1 : Numunenin suya doymuş kütlesi
 M_2 : Numunenin sudaki kütlesi (Arşimet terazisi ile ölçülen)

Eğilme dayanımı tayini TS EN 12390-5'e uygun olarak, her polimer beton serisi için 40x40x160 mm boyutlarında, 3'er adet üretilen beton örnekleri ile yapılmıştır. Gerçekleştirilen üç noktalı eğilme testinde eğilme dayanımı, numunelerden bulunan üç değerlerin ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Eğilme dayanımını hesaplamada aşağıdaki formül kullanılmıştır.

$$f_{cf} = \frac{3 F_{cf} \cdot L}{2 b \cdot h^2} \quad (2)$$

Burada;

- f_{cf} : Eğilme dayanımı, (MPa)
 F_{cf} : Eğilme kuvveti, (N)
 L : Mesnet silindirleri arasındaki açıklık, (mm)
 B : Numune eni, (mm)
 H : Numune yüksekliği, (mm)

Basınç dayanımı tayini TS EN 196-1'e uygun olarak her polimer beton serisi için 40x40x160 mm boyutlarındaki numunelerden eğilme deneyi sonucu iki eşit parçaya ayrılmış, 6 adet örnek ile yapılmıştır. Deney sonucunda bulunan altı adet dayanım değerinin ortalaması alınarak basınç dayanımı değeri hesaplanmıştır. Basınç dayanımları hesaplanırken aşağıdaki formülden yararlanılmıştır.

$$f_c = \frac{F_c}{A} \quad (3)$$

Burada; f_c basınç dayanımı, F_c basınç kuvveti, A ise deneyin uygulandığı numunenin kesit alanını göstermektedir.

Polimer beton numuneleri üzerine uygulanan eğilme ve basınç dayanımı deney görselleri Şekil 1'de gösterilmiştir.

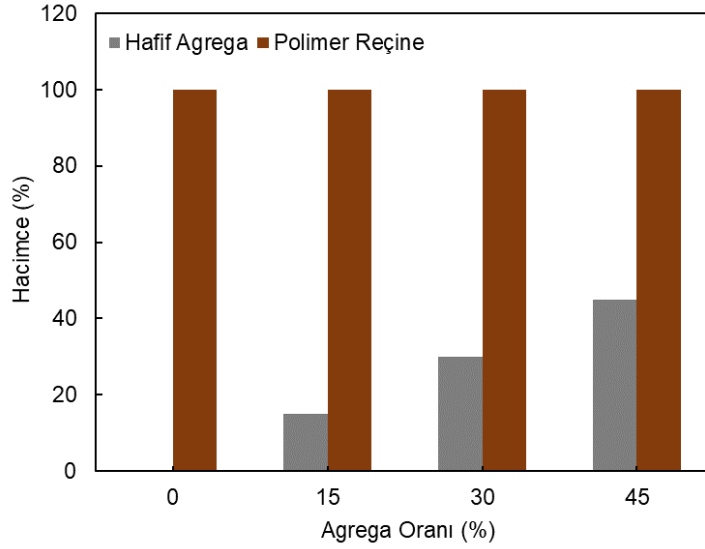


Şekil 1. Basınç ve eğilme dayanımı deneylerinden görseller (Images from compressive and flexural strength tests)

Boyuna dalga hızı (V_p) tayini TS EN 12504-4'e göre 70x70x70 mm boyutlarında polimer beton örnekleri üzerinde yapılmıştır. Cihaz iki adet 55 kHz piyezometrik P dalga boyu ölçen proplara sahiptir. Cihaz tarafından üretilen sinyal, 200 V'lik bir genliğe ve 1 μ s'lik bir genişliğe sahiptir. Ölçümlere geçilmeden önce cihaz, kalibrasyon çubuğu kullanılarak kalibre edilmiştir. Doğru bir şekilde ölçüm yapabilmek için proplar ile test numunesi arasında tam temas sağlamak amacıyla jel kullanılmıştır. Cihazdan elde edilen boyuna dalga geçiş süresi mikro saniye olarak ölçülmüş ve ölçülen değerler, ölçümün alındığı mesafeye bölünerek boyuna dalga hızı değerleri hesaplanmıştır (Miturski vd., 2021; Viana vd., 2021).

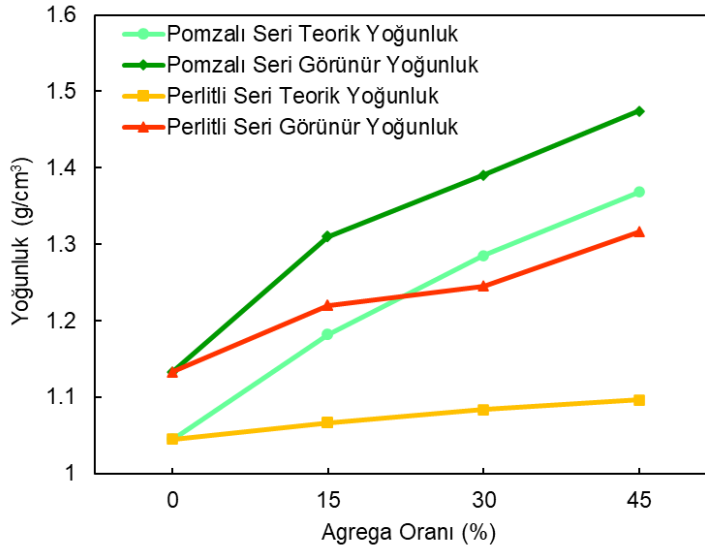
3. Araştırma Bulguları ve Tartışma (Research Findings and Discussion)

Laboratuvar deneylerinde kullanılan polimer beton numuneleri üretilirken optimum pomza ve genleştirilmiş perlit oranları vinilester reçineye göre hacimce %0 – %15 – %30 – %45 şeklinde belirlenmiştir. Polimer beton numunelerinin hacimce karışım oranları Şekil 2’de gösterilmektedir.



Şekil 2. Polimer beton numunelerinin hacimce karışım oranları (Mixing ratios of polymer concrete samples by volume)

Belirlenen hacimce karışım oranları agregat yoğunluklarının farklı olması sebebiyle her seri için ağırlıkça farklı oranlara karşılık gelmektedir. Bu nedenle üretilen tüm polimer beton örneklerinin yoğunlukları da birbirinden farklı olmaktadır. Şekil 3’te hem pomza hem de genleştirilmiş perlit agregalı polimer betonların teorik ve görünür yoğunlukları gösterilmektedir. Teorik yoğunluklar numune üretiminde kullanılan malzemelerin karışım oranlarına göre üretim öncesi ağırlıklarından hesaplanmışken, görünür yoğunluklar sertleşmiş beton numuneleri üzerinde Başlık 2.2’de anlatıldığı gibi Eşitlik (1)’den hesaplanmıştır.

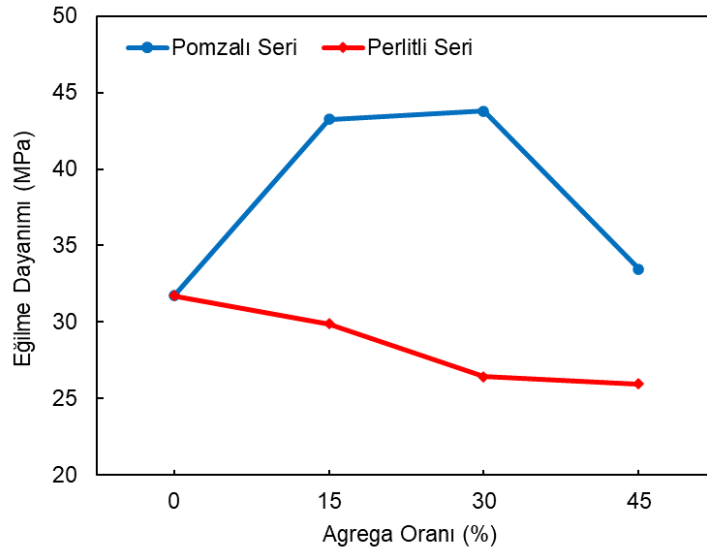


Şekil 3. Agregat tipine ve karışım oranlarına göre polimer betonların teorik ve görünür yoğunlukları (Theoretical and apparent densities of polymer concretes according to aggregate type and mix ratios)

Pomza agregasının özkütlesi genleştirilmiş perlit agregasının özkütlesinden büyük olduğu için, tüm polimer beton numunelerinde hem teorik hem deneysel yoğunlukları pomza agregalı serilerde daha büyük bulunmuştur. Agregaların karışım oranlarındaki artış tüm serilerde hem teorik hem de görünür yoğunlukları arttırmıştır. Tüm yoğunluk değerleri bir arada değerlendirildiğinde görünür ve teorik yoğunlukların birbirleri ile uyum içerisinde olduğu görülmüştür. Her iki seride de görünür yoğunluklar teorik yoğunluklardan büyük ölçülmüştür. Bu farklılıktaki temel sebep, teorik yoğunluğun bileşenlerin ayrı ayrı ağırlıklarından hesaplanması, görünür yoğunluğun ise kompozit bir malzeme halini alan polimer beton numunelerinin Arşimet terazisi ile daha hassas

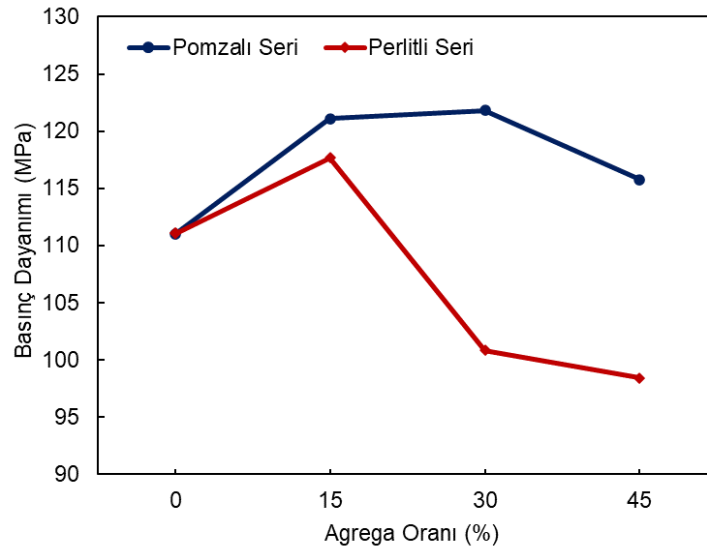
bir şekilde ölçülerek hesaplanmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca bu durum bir miktar rötre yapan numunelerin hacimsel değişimlerinden de kaynaklanmaktadır.

Üretilen polimer betonların, agrega oranı artışına göre eğilme ve basınç dayanımlarındaki değişiklikler Şekil 4 ve Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 4. Polimer bağlayıcılı hafif betonların eğilme dayanımları (Flexural strength of lightweight concretes with polymer binders)

Agregasız polimer betonda eğilme mukavemeti 31.71 MPa olarak ölçülmüştür. Hafif agregalı serilerde en yüksek eğilme dayanımı %30 pomza içeren numunede 43.78 MPa olarak, en düşük eğilme dayanımı ise %45 genleştirilmiş perlit içeren numunede 25.93 MPa olarak elde edilmiştir.



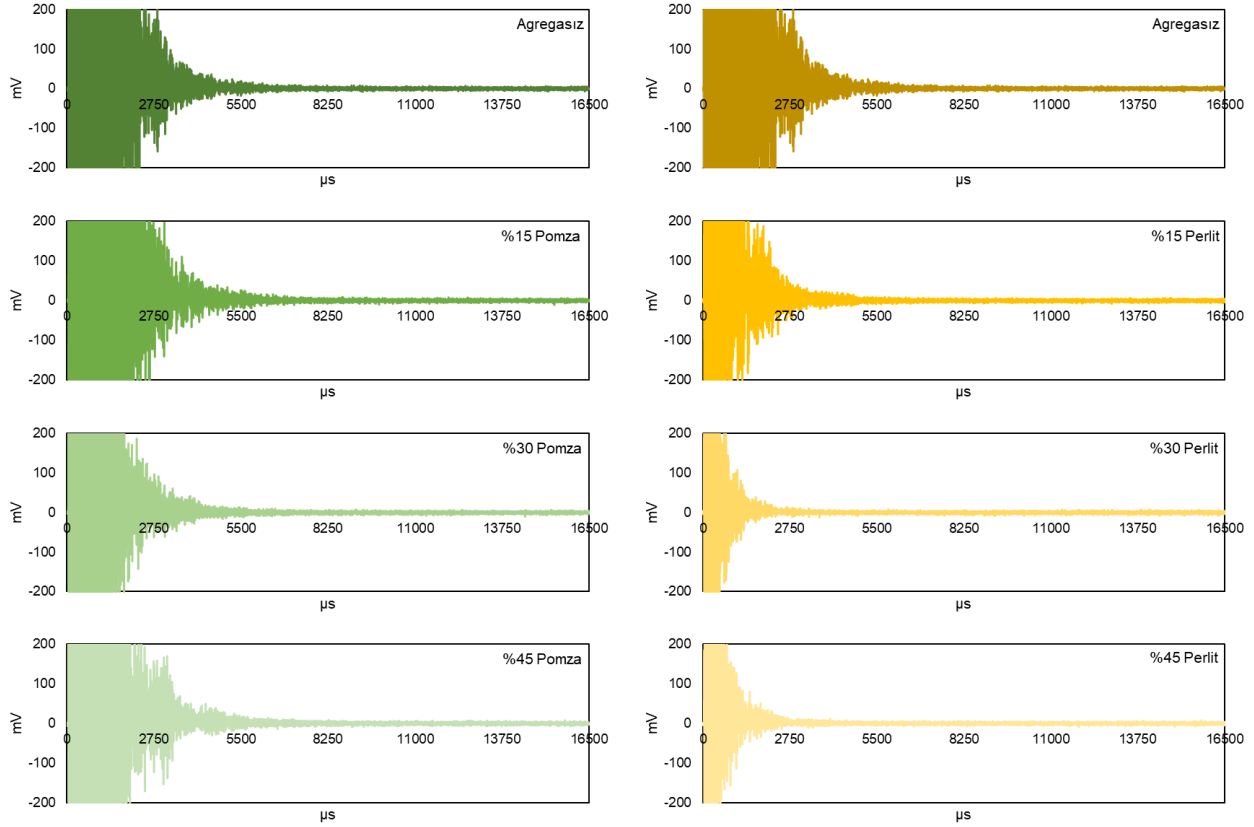
Şekil 5. Polimer bağlayıcılı hafif betonların basınç dayanımları (Compressive strength of lightweight concretes with polymer binders)

Basınç dayanımları agregasız numune için 111.01 MPa olarak ölçülmüştür. Hafif agregalar kullanılarak üretilen polimer betonlarda ise en yüksek basınç dayanımı değeri eğilme dayanımında olduğu gibi %30 pomza içeren numunede 121.80 MPa olarak, en düşük basınç dayanımı ise yine %45 genleştirilmiş perlit içeren numunede 98.42 MPa olarak elde edilmiştir.

Katılarda boyuna dalgaların hızı, atomlar arasındaki etkileşim kuvvetlerine ve dalga hareketini ileten atomların kütlelerine bağlı olarak değişmektedir. Kompozit malzemeleri oluşturan matris ve faz malzemelerin tipine, oranlarına, yoğunluklarına ve kompozitin kürlenme durumlarına göre ortamdaki dalga yayılma hızının değişmesi de bu sebeptir. Ayrıca kompozit malzeme içerisindeki bağlayıcı miktarı arttıkça boyuna dalga hızı da

artmaktadır. Bu değişim malzemelerin arasındaki bağlanmadan kaynaklanmaktadır. Sünek malzemelerde ise dalganın hareket yolu boyunca daha yumuşak bölge oluşacağı için dalganın enerjisi sürekli azalmaktadır (Phillipidis ve Aggelis, 2005; Miturski vd., 2021).

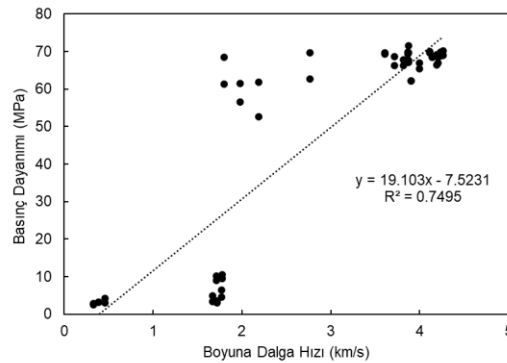
Polimer betonların boyuna dalga hızı sonuçları cihazın numuneler üzerine gönderdiği sinyalin genlik ve genişlik değerlerine göre grafiğe aktarılmış ve Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6. Boyuna dalgalarının numunelere göre değişimi (Variation of compressional waves according to samples)

Dayanım azaldıkça boyuna dalgalarının gecikmesi artar ve genlikler azalır. Bu durum agregasız örnek ve %45 agregalı örnekler kıyaslandığında oldukça belirgindir. Ayrıca boyuna dalga hızında gözlenen değişiklikler, mikro çatlakların ve boşluk oranlarının varlığından kaynaklanan beton gözenekliliğinin artması ve dolayısıyla sinyal zayıflamasından kaynaklanmaktadır. Agregasız oranındaki artış genellikle dalga hızında azalma meydana getirmektedir. Bu azalmaya dalgaların yayılma yolunda artan ara yüzey sayısından sebep olmaktadır.

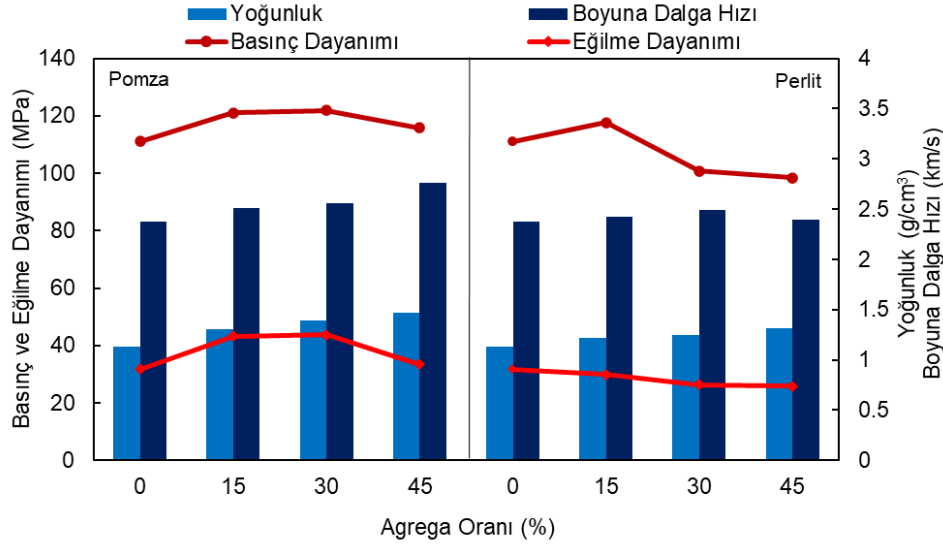
Beton basınç dayanımı ile ultrasonik ses geçiş hızı arasında bir bağlantı olmasına karşın bu bağlantı tek bir korelasyondan dolayı olmamaktadır. Korelasyon beton karışım özelliklerine (bağlayıcı tipi, agregasız tipi, karışım oranları vs.) göre değişmektedir (Zebari vd., 2016). Şekil 7'de tüm polimer bağlayıcılı hafif betonların basınç dayanımları ve boyuna dalga hızları arasındaki ilişki gösterilmiştir.



Şekil 7. Polimer bağlayıcılı hafif betonların basınç dayanımı ve boyuna dalga hızı ilişkisi (Relationship between compressive strength and compressional wave velocity of lightweight concrete with polymer binder)

Şekil 7’de görüldüğü gibi tüm numuneler üzerinde yapılan basınç dayanımı ve boyuna dalga hızı deneyleri sonucu ortaya çıkan ilişkiler grafik üzerinde gösterilmiştir. Bu ilişkinin önemi regresyon katsayısı (R^2) ile doğrulanmaktadır. Üretilen hafif agregalı polimer betonların basınç dayanımları ile boyuna dalga hızı arasındaki ilişkide $R^2=0.7495$ olarak elde edilmiştir. R^2 değerinin 1’e çok yaklaşmamasının nedeninin, bazı numunelerin üretim sürecindeki güçlüklerle beraber ortaya çıkan problemlerden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Şekil 8’de ise polimer betonlar üzerinde uygulanan tüm deneysel çalışmalar tek bir grafik üzerinde gösterilerek mekanik özellikler ile fiziksel özellikler arasındaki ilişkiler ortaya konulmuştur.



Şekil 8. Polimer bağlayıcılı hafif betonlar üzerinde gerçekleştirilen tüm deneysel çalışmaların birbirleri ile ilişkisi (The relationship between all experimental studies carried out on lightweight concretes with polymer binders)

Tüm numuneler göz önüne alındığında pomza kullanılarak üretilen polimer beton numunelerinin tüm mühendislik özellikleri geliştirilmiş perlit kullanılarak üretilen numunelerden daha yüksek çıkmıştır. Pomza agregasının %30, geliştirilmiş perlit agregasının ise %15 oranı basınç dayanımı için eşik değeri oluşturmuştur. Özellikle geliştirilmiş perlit kullanılarak üretilen serilerde eşik değerini aşılmasıyla basınç dayanım değerleri belirgin biçimde düşmektedir.

4. Sonuçlar ve Öneriler (Results and Recommendations)

Pomza ve geliştirilmiş perlit hafif agregaları kullanılarak üretilen vinilester reçineli polimer beton kompozitlerinin mühendislik özelliklerinin araştırılması amacıyla yapılan çalışmalar neticesinde elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

- Agregasyon oranı artışına bağlı olarak polimer betonların yoğunlukları artmıştır. Agregaların aralarındaki yoğunluk farklılığı nedeniyle pomza agregası kullanılarak üretilen polimer beton numunelerinin yoğunlukları geliştirilmiş perlit agregası kullanılarak üretilen numunelerden daha yüksek bulunmuştur.
- Hafif agregalar kullanılarak üretilen polimer beton numunelerinde en yüksek eğilme dayanımları pomza içeren örneklerden alınmıştır. Bu kapsamda %30 pomza içeren numunede eğilme dayanımı 43.78 MPa olarak en yüksek değeri almışken, en düşük eğilme dayanımı ise %45 geliştirilmiş perlit içeren numunede 25.93 MPa olarak elde edilmiştir. Agregasyon kullanılmadan üretilen numune ise 31.71 MPa dayanım değerine sahiptir.
- Basınç dayanımı sonuçları agregasyon oranının %15’ten %45’e artması durumunda önce bir miktar artış ve daha sonra azalış göstermiştir. Agregasız örnekte 111.01 MPa olarak bulunan basınç dayanımı en yüksek %30 pomza içeren örnekte 121.80 MPa olarak elde edilmiştir. Ayrıca geliştirilmiş perlit agregası kullanılarak üretilen örneklerde de en yüksek dayanım değeri %15 geliştirilmiş perlitli örnekte 117.68 MPa olarak elde edilmiştir.

- Agregata türleri kendi aralarında karşılaştırıldığında pomzalı polimer betonlarda geliştirilmiş perlitli polimer betonlara göre daha yüksek boyuna dalga hızları ölçüldüğü görülmüştür. Bu durum dayanım değerleri ile de örtüşmektedir. Dayanım azaldıkça boyuna dalgaların gecikmesi artmış ve genlik değerleri azalmıştır. Agregata kullanılmadan üretilen örnek, %45 agregalı örnekler ile kıyaslandığında genlik ve genişlik değerlerinin oldukça belirgin olduğu görülmektedir.
- Tüm deneysel çalışmalarda pomza agregası kullanılarak üretilen numuneler geliştirilmiş perlit agregası kullanılarak üretilen numunelerden daha performanslı sonuçlar vermiştir. Bu durumun üretim aşamasında pomzanın daha kararlı bir yapıda olması, üretim ve işlenebilirlik açısından daha iyi özellikler göstermesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.
- TS EN 206+A2 Standardına göre hafif beton yoğunluk sınıfları Tablo 3'te gösterilmiştir.

Tablo 3. Hafif betonun yoğunluğa göre sınıflandırılması (Classification of lightweight concrete by density)

Yoğunluk Sınıfı	D 1.0	D 1.2	D 1.4	D 1.6	D 1.8	D 2.0
Yoğunluk	≥ 800	> 1000	> 1200	> 1400	> 1600	> 1800
Aralığı	ve	ve	ve	ve	ve	ve
(kg/m ³)	≤ 1000	≤ 1200	≤ 1400	≤ 1600	≤ 1800	≤ 2000

Tablo 3'teki yoğunluk sınıflarına göre, üretilen agregasız polimer beton numuneleri yaklaşık 1100 kg/m³ yoğunluk ile D 1.2 sınıfında kendine yer bulmuştur. Geliştirilmiş perlit agregalı numuneler ise yaklaşık 1200 - 1300 kg/m³ aralığındaki yoğunluklarıyla D 1.4 sınıfına ait olmaktadır. Son olarak pomza kullanılarak üretilen polimer beton numuneleri de 1300 - 1500 kg/m³ aralığındaki yoğunluklarıyla D 1.4 ve D 1.6 yoğunluk sınıflarına karşılık gelmiştir. Ayrıca üretilen polimer betonların basınç dayanım değerleri, boyut etkisi ile birlikte düşünüldüğünde LC 70/77 - LC 80/88 hafif beton dayanım sınıflarına karşılık gelmektedir. Bu durum geleneksel bağlayıcı betonlara göre polimer bağlayıcı hafif betonların benzer yoğunluklarda fiziksel ve mekanik özellikler açısından sağladığı avantajları ortaya koymaktadır.

- Hafif agregalar kullanılarak üretilen polimer betonların mühendislik özelliklerinin belirlenmesi açısından farklı agregata türleri ve farklı polimer reçine çeşitleri ile yeni çalışmalar yapılması önerilmektedir.
- Son olarak hafif agregaların üstün yalıtım kabiliyetleri olması sebebiyle hafif agregalar kullanılarak üretilen polimer betonların ses, ısı ve yangın yalıtım malzemesi olarak kullanılabilirliklerinin de araştırılması gerektiği önerilmiştir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

Kaynaklar (References)

- Akyüncü, V., 2019. Pomza Agregalı Hafif Beton Blokların Mekanik Özelliklerinin ve Yangın Etkisi Altındaki Davranışının İncelenmesi. Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 8, (1), 147-157.
- Baydar, U., 2016. Polimer Betonların Yüzey Yapışma Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Beycioğlu, A., Başyigit, C., Kılınçarslan, Ş., 2010. Pomza Agregalı Hafif Beton Özelliklerine Silis Dumanının Etkisi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 14, (2), 200-205.
- Chandra, S., Berntsson, L., 2002. Lightweight Aggregate Concrete: Science, Technology, and Applications. William Andrew Applied Science Publishers.
- Çelik, A.G., Kılıç, A.M., Akkurt, F., 2014. Yapı Malzemesi Üretiminde Geliştirilmiş Perlit Agregası Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 29, (3), 451-458.
- Davraz, M., Gündüz, L., Başpınar, E., 2011. Lightweight Aggregated Foam Plaster for Thermal Insulation in Buildings. Journal of Engineering Science and Design, 1, (3), 150-155.
- Davraz, M., Koru, M., Yanardağ, B., 2021. Kalsiyum Alüminat Çimentolu Hafif Betonun Fiziko-Mekanik ve Termal Özelliklerinin Araştırılması, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9, (1), 217-229.
- Douba, A., Genedy, M., Matteo, E.N., Kandil, U.F., Stormont, J., Reda Taha, M.M., 2017. The Significance of Nanoparticles on Bond Strength of Polymer Concrete to Steel. International Journal of Adhesion and Adhesives, 74, 77-85.
- Fidan, Ş., Oktay, H., Polat, S., 2020. Hafif Yapı Malzemelerinin Isıl İletkenlik Özelliklerinin Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Tahmin Edilmesi. Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi, 10, (1), 28-41.
- Geçten, O., Gül, R., 2019. Hafif ve Normal Agregalı Betonlarda Atmosferik Kürün Su Emme, Rötme ve Isı İletkenliği Üzerine Etkileri. TÜBAV Bilim Dergisi, 12, (3), 20-31.

- Gökçe, H.S., Şimşek, O., Durmuş, G., Demir, İ., 2010. Ham Perlit Agregalı Hafif Beton Özelliklerine Alternatif Genleştirilmiş Perlit Kullanımının Etkisi. *Politeknik Dergisi*, 13, (2), 159-163.
- Kılıçtan, S., Demir, U., 2021. Hafif Blok Üretiminde Çanakale Ayvıcık Volkanik Tüfünün Agregası Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 12, (5), 821-828.
- Kılınc Aksay, E., Akar, A., Cöcen, İ., 2016. Pomza Cevherinin Hazırlanması ve Zenginleştirilmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16, 384-390.
- Kılıncarslan, Ş., Davraz, M., Akça, M., 2018. Pomza Agregalı Köpük Betonların Özelliklerinin Araştırılması. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 6, (1), 148-153.
- Kozak, M., Ünal, O., 2010. Hafif Agregalı Blokların Özelliklerinin Araştırılması. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 6, (2), 17-30.
- Miturski, M., Sas, W., Radzevicius, A., Šadzevicius, R., Skominas, R., Stelmaszczyk, M., Głuchowski, A., 2021. Effect of Dispersed Reinforcement on Ultrasonic Pulse Velocity in Stabilized Soil. *Materials*, 14, (22), 6951, 1-18.
- Özden, Ç.A., 2010. Polimer Betonların Donma - Çözülme Etkisine Dayanıklılığı. Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Özel, C., 2007. Katkılı Betonların Reolojik Özelliklerinin Beton Deney Yöntemlerine Göre Belirlenmesi. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Phillipidis, T.P., Aggelis, D.G., 2005. Experimental Study of Wave Dispersion and Attenuation in Concrete, *Ultrasonics*, 43, (7), 584-595.
- Pişkin, A., 2010. Polyester Polimer Beton Üretiminde Cam Tozu Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Sağlam, R.N., Açıkgenç Ulaş, M., Alyamaç, K.E., 2022. Hafif Beton Üretimi İçin Gerekli Olan Hafif Agregası Miktarının Yapay Sinir Ağı ile Tahmin Edilmesi. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 34, (2), 889-898.
- Soykan, O., Öcal, C., Özel, C., Eren, A., Çelik, O., 2015. Deprem Sonrası Betonarme Elemanların Polimer Beton ile Onarım ve Güçlendirilmesi. *Uluslararası Burdur Deprem ve Çevre Sempozyumu*, 227-232.
- Subaşı, S., 2009. Genleştirilmiş Kil Agregası ile Taşıyıcı Hafif Beton Üretimi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 24, (3), 559-567.
- Şimşek, B., Uygunoğlu, T., 2016. Multi-Response Optimization of Polymer Blended Concrete: A TOPSIS Based Taguchi Application. *Construction and Building Materials*, 117, 251-262.
- Toprak, M.U., Mercan, C., 2021. Kütahya Bölgesi Kırmızı Topraklarından Hızlı Sinterleme Yöntemi ile Hafif Agregası Üretilmesi. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8, (2), 523-530.
- Topsakal, A., 2013. Polimer Betonların Bazı Durabilite Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Toufigh, V., Hosseinali, M., Shirkhorshidi, S.M., 2016. Experimental Study and Constitutive Modeling of Polymer Concrete's Behavior in Compression. *Construction and Building Materials*, 112, 183-190.
- TS EN 12390-5, 2019. Beton - Sertleşmiş Beton Deneylemleri - Bölüm 5: Deney Numunelerinin Eğilme Dayanımının Tayini. *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN 12390-7, 2019. Beton - Sertleşmiş Beton Deneylemleri - Bölüm 7: Sertleşmiş Betonun Yoğunluğunun Tayini. *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN 12504-4, 2012. Beton Deneylemleri - Bölüm 4: Ultrasonik Atımlı Dalga Hızının Tayini. *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN 196-1, 2016. Çimento Deney Metotları - Bölüm 1: Dayanım Tayini. *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN 206+A2, 2021. Beton - Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk. *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- Ünal, O., Uygunoğlu, T., 2007. Diatomit Hafif Beton Üretiminde Kullanılması. *İMO Teknik Dergi*, 18, (86), 4025 - 4034.
- Viana, A.C.C., Moraes, P.D., Padaratz, I.J., 2022. Ultrasonic Wave Propagation in Thermally Treated Concrete up to 400 °C. *IBRACON Structures and Materials Journal*, 15, (3), 1-16.
- Yıldırım, K., Sümer, M., Subaşı S., 2018. Hafif Beton Üretiminde Granüle Edilmiş Fındık Kabuğunun Kullanılabilirliğinin Araştırılması. *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, 5, (2), 501-511.
- Yolcu, C., Girgin, Z.C., 2017. Dünyada Yapay Hafif Agregalı Yapısal Beton Uygulamaları ve Doğal Pomza Agregasının Kullanılabilirliği. *Aurum Mühendislik Sistemleri ve Mimarlık Dergisi*, 1, (2), 59-67.
- Zebari, Z., Bedirhanoglu, İ., Aydın, E., 2016. Beton basınç Dayanımının Ultrasonik Ses Dalgası Yayılma Hızı ile Tahmin Edilmesi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 8, (1), 43-52.



BAZALTLARDA ISIL İLETKENLİK VE ISI DEPOLAMADA OLİVİNİN SERPANTİNLEŞMESİNİN ETKİSİ

Erdoğan TİMURKAYNAK^{*1,3}, Kadir KARAMAN², Hasan KOLAYLI¹, Yaşar Çakır⁴

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

² Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon

³ Karadeniz Teknik Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Müh. Bölümü, 61080, Trabzon

⁴ Trabzon Valiliği Planlama ve Koordinasyon Daire Başkanlığı, Trabzon

Anahtar Kelimeler

*Bazalt,
Isıl İletkenlik,
Isı Depolama,
Porozite,
Serpantinleşme Oranı.*

Öz

Bu çalışmada, artan serpantinleşme oranı ile kayanın ısı iletkenlik katsayısı, ısı geçirgenlik ve porozitesi arasında bir ilişki gözlemlenmiş ve serpantinleşmenin nedenleri araştırılmıştır. Çalışma alanı stratigrafik açıdan farklı kot seviyelerinde bulunmakta olup, örnekleme noktalarına göre üç gruba (A1, M2 ve M3) ayrılmıştır. Ayrıca petrografik ince kesit çalışmaları ve Taramalı Elektron Mikroskobu (TEM) analizleri yapılmıştır. Mineralojik ince kesit analizleri, olivinin serpantinleşmesinin A1, M2 ve M3 bazaltları için sırasıyla ortalama % 8.25, % 24 ve % 75.5 olduğunu göstermiştir. Olivinlerdeki artan serpantinleşme oranı nedeniyle ısı iletkenlik katsayıları ve ısı geçirgenlik değerleri oldukça azalmıştır. TEM analizlerine göre M2 ve M3 bazaltlarında mikro çatlaklar yoğun bir şekilde bulunmaktadır. Isıl iletkenlik katsayısı ile serpantinleşme oranı ve porozite (%) arasındaki korelasyon oranı hem kuru hem de doymuş numuneler için 0.90-0.99 arasında değişmiştir. Volkan konisi ile fay hattının yakınlığı ve M3'ün stratigrafik olarak daha yüksek kotlardaki konumu serpantinleşmeye neden olan önemli faktörler olarak değerlendirilmiştir. Sonuç olarak ısı depolama malzemesi olarak kullanılan kayalara ait büyük ölçekli sahalarda ısı iletkenlik ve ısı geçirgenlik katsayılarındaki değişimler araştırılmalı ve varsa serpantinleşme gibi alterasyon ürünleri kontrol edilmelidir.

EFFECT OF SERPENTINIZATION OF OLIVINE ON THERMAL CONDUCTIVITY AND HEAT STORAGE IN BASALTS

Keywords

*Basalt,
Thermal Conductivity,
Thermal Storage,
Porosity,
Serpentinization Rate.*

Abstract

In this study, a relationship was observed between the increasing degree of serpentinization and the thermal conductivity coefficient, thermal diffusivity and porosity of the rock, and the reasons for the serpentinization were investigated. The study area is located at different stratigraphically levels and is divided into three groups (A1, M2 and M3) according to the sampling points. In addition, petrographic thin section studies and Scanning Electron Microscope (SEM) analyzes were performed. Mineralogical thin section analyzes showed that the serpentinization of olivine averaged 8.25%, 24% and 75.5% for A1, M2 and M3 basalts, respectively. Due to the increasing degree of serpentinization in olivines, the thermal conductivity coefficients and thermal diffusivity values have decreased considerably. According to SEM analysis, microcracks are intense in M2 and M3 basalts. The degree of correlation between the coefficient of thermal conductivity with the degree of serpentinization and porosity (%) varied between 0.90 and 0.99 for both dry and saturated samples. The proximity of the volcanic cone and the fault line and the stratigraphical location of M3 at higher elevations were considered as important factors causing serpentinization. As a result, changes in thermal conductivity coefficients and thermal diffusivity should be investigated in large-scale areas of rocks used as heat storage material and alteration products such as serpentinization should be checked.

* İlgili yazar / Corresponding author: tkaynak@ktu.edu.tr, +90-462-377-2065

Alıntı / Cite

Timurkaynak, E., Karaman, K., Kolaylı, K., Çakıcı, Y., (2023). Bazaltlarda Isıl İletkenlik ve Isı Depolamada Olivinin Serpantinleşmesinin Etkisi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(4), 1486-1495.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

E. Timurkaynak / N. Surname, 0000-0001-9311-539X
 K. Karaman / N. Surname, 000-0002-3831-4465
 H. Kolaylı / N. Surname, 0000-0003-3629-7371
 Y. Çakır / N. Surname, 0000-0002-0580-4599

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	07.08.2023
Revizyon Tarihi / Revision Date	16.10.2023
Kabul Tarihi / Accepted Date	17.10.2023
Yayın Tarihi / Published Date	30.12.2023

EFFECT OF SERPENTINIZATION OF OLIVINE ON THERMAL CONDUCTIVITY AND HEAT STORAGE IN BASALTS

Erdoğan TİMURKAYNAK^{†1,3}, Kadir KARAMAN², Hasan KOLAYLI¹, Yaşar Çakır⁴

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

²Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon

³Karadeniz Teknik Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Müh. Bölümü, 61080, Trabzon

⁴Trabzon Valiliği Planlama ve Koordinasyon Daire Başkanlığı, Trabzon

Highlights (At least 3 and maximum 4 sentences)

- The serpentinization of basalts was investigated.
- The serpentinization degree of basalt was determined and its porosity was determined.
- The thermal conductivity of basalt undergoing serpentinization was investigated.
- The importance of serpentinization in terms of heat storage is indicated

Purpose and Scope

The aim of this study is to evaluate basalts according to their serpentinization degree and thermal conductivity coefficients in terms of heat storage and to consider these variables while these rocks are used for heat storage, in determining the type of basalt to be used.

Design/methodology/approach

Thermal conductivity and apparent porosity of basalt samples were obtained. Serpentinization of olivine minerals was investigated by thin section analysis. The relationships between thermal conductivity with porosity and serpentinization rate were evaluated.

Findings

The thermal conductivity coefficients of basalt with a high degree of serpentinization have decreased considerably. In addition, according to SEM analyzes and mineralogical analyzes M3 rock was found to have the highest porosity and the lowest porosity rock was determined as M1 rock.

Originality

The importance of basalts in terms of heat storage has been examined in previous studies. However, in our study, the fact that the heat storage property of basalt increased or decreased according to the degree of serpentinization was determined by measuring the thermal conductivity coefficients, and basalt was classified in terms of heat storage.

[†] Corresponding author: tkaynak@ktu.edu.tr, +90-462-377-2065

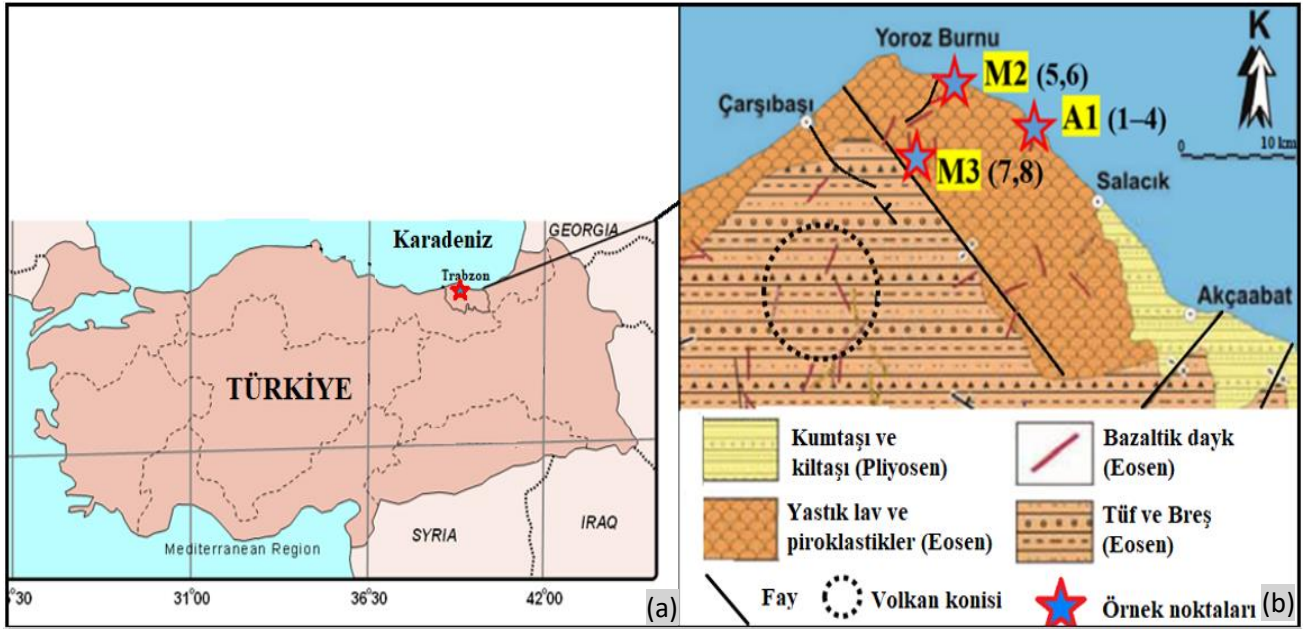
1. Giriş (Introduction)

Isı enerjisi, maddenin iç enerjisindeki farklılaşma ile duyulur ısı, gizli ısı, tepkime ısısı ya da bunların birleşimi olarak depolanır. Duyulur ısı depolama yönteminde, ısı depolayan malzemenin mevcut sıcaklığının değişimi ile ortaya çıkan ısıdan yararlanır. Gizli ısı depolamasında, faz değişimi gösteren maddeler (FDM) kullanılır. Depolama maddesinin faz değiştirme esnasında, depolama işlemindeki sıcaklık aralığında ortaya çıkan gizli ısı belirlenir. Bu amaçla belirli sıcaklıklarda ergime, buharlaşma veya diğer faz değişimlerine uğrayan malzemelerden yararlanır. Termokimyasal depolama metodunda ise ısı enerjisi bir bileşiğin bağ enerjisi olarak depolanabilir (Kozak ve Kozak, 2012). Kaya gibi katı malzemeler, metaller, beton, kum, tuğla vb. malzemeler düşük ve yüksek sıcaklıkta termal enerji depolama için kullanılabilir (Hasnain vd., 1996). Genellikle kaya kütleleri veya çakıl yatakları düşük maliyetleri nedeniyle depolama malzemesi olarak tercih edilir. Kaya kütlesi veya çakıl yatağı, gevşek bir şekilde paketlenmiş kaya malzemesinden oluşur. Depolama sisteminde depolanan enerji, malzemenin termofiziksel özellikleri, kaya boyutu ve şekli, paketlenme yoğunluğu, ısı transferi sıvısı gibi parametrelere bağlıdır. Ayrıca ısı enerjisi kaya kütlelerinde veya çakıllarda (yalıtımlı kaplarda paketlenmiş) depolanabilir. Araştırmacılar, kaya dolgulu yatağın ısı transfer özellikleri hakkında çok sayıda çalışma yürütmüşlerdir (Schumann, 1929). (Furnas 1930) ilk ısı depolama malzemesi olarak ideal dolgulu yataklı kayayı önerdi, sonra ısı transferi ile ilgili deneysel ısı transferi çalışmaları yürütmüş olup kayalarla dolu bir yataktan ısı akışı ne kadar fazla olursa kayaların etkili ısı transfer katsayısı o kadar çok yüksek olduğu belirtilmiştir. Termal enerji, hissedilir ısı ve gizli ısı olarak depolanabilir. Duyulur ısı depolama sistemleri genellikle depolama ortamı olarak kayaları veya suyu kullanır. Isı, depolama ortamı sıcaklığı artırılarak depolanır. Gizli ısı depolama sistemleri enerjiyi faz değiştiren malzemelerde depolar. Isı, malzemenin katıdan sıvıya faz değiştirme esnasında depolanır (Dincer, 1999). Gevşek bir şekilde paketlenmiş kaya yatağı ısı depolama ortamı olarak kullanılır ve ısıyı 685 °C'ye kadar depolar (Park vd., 2014). Karakterizasyon deneyleri silikanın potansiyelini göstermiş olup, kayalara termal işlem uygulamakta ve özellikle 250 °C'den daha yüksek sıcaklıklarda kayaların ısı performansını iyileştirmektedir (Jemmala ve Zari, 2017). Eriterek söndürme yöntemiyle bazalt camları hazırlanmıştır. Bazalt camının yüksek sıcaklıkta ısı depolamaya uygulanabilirliği incelenmiş olup yapılan çalışmada, bazalt camlarının kimyasal bileşimi ve yapısı belirlenmiştir. Bu işlem sırasında sıcaklık ve bileşimin; yoğunluk, ısı kapasitesi, termal difüzyon gibi temel termofiziksel özellikler üzerindeki etkisi incelenmiş olup, iletkenlik ve termal genleşme bir dizi termal döngü sırasında analiz edilmiştir. Bazalt camının son derece yüksek ısı depolama, performansı, termal kararlılığı ve çalışma sıcaklığı 1000 °C kadar uygun, güneş enerjisi ısı depolama malzemesi olarak kullanılabilir olduğu gösterilmiştir (Liu vd., 2020). İnce taneli bazalt kayalarının yüksek enerji depolama uygulamalarında dolgu malzemesi olarak kullanılma potansiyeli 700 °C ye kadar konsantre güneş enerjisi santrallerinde uygulanmıştır. Düşük maliyet ve kolay bulunabilirliklerine ek olarak, düşük çevresel etkilerde bazalt kayaları yüksek termo-fiziksel özellik ve iyi termal kararlılık göstermiştir (Nahas ve Py, 2019). Günümüzde alternatif termal enerji depolama malzemeleri geliştirmek için yoğun bir araştırma vardır. Konsantre güneş santralleri için 800–1000 °C sıcaklık aralığında bazalt kaya kütleleri seçilir ve bu bazaltların ısıtma işlemi sırasında (1000 °C'ye kadar) mineralojisinin, bileşiminin ve dokusunun termal özellikler üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir (Benjamin vd., 2017). Gözenekli ortamda ısı kayıpları ve ısı iletiminde ısı transferinin varlığı şarj ve deşarj sürelerinde artış tespit edilmiştir (Andreozzi vd., 2012). Harry Thomasson yöntemi, suyun kullanıldığı en uygun yöntemlerden biri olup kaya ile birlikte kullanılmaktadır. Bu sistemde kayalar ve su içeren tank bir izolasyon ile çevrilidir. Bu sistemin avantajı, suyun ve kayaların ısı kapasitesinin çok yüksek olmasıdır. Hava ile temas eden kayanın yüzeyi arttıkça kayanın absorbe edeceği ısı kapasitesinde fazla olacaktır (Dincer, 2002).

2. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Bu çalışmada kullanılan bazaltlar, Trabzon ili, Akçakale-Mersin mahalle sınırları içinde 3 ayrı sahadan temin edilmiştir. Eosen yaşlı bazaltlar yine aynı yaşlı piroklastitler içinde kalınlığı 12-15 metre arasında olan prizmatik dayk şeklinde bulunurlar (Şekil 1). 3 farklı sahadan alınan bazaltlar; Akçakale 1 (A-1), Mersin 2 (M-2), Mersin 3 (M-3) şeklinde kodlanmıştır.

Bu çalışmada, farklı gözenek ve alterasyon özelliklerine sahip bazaltların termal iletkenlik katsayısı araştırılmış ve ayrıca gözenek ve alterasyonun ısı depolama üzerindeki etkisi irdelenmiştir.



Şekil 1. Çalışma sahasının yer bulduru (a) ve jeolojik haritası (b) (Yücel vd., 2014'ten değiştirilmiştir)
(Location (a) and geological map of the study area (b) (modified from Yücel 2013))

2.1. Deneysel çalışmalar (Experimental studies)

Farklı serpantinleşme oranına sahip A1, M2, M3 lokasyonlarındaki bazalt örneklerinin termal iletkenlikleri ısı iletim katsayısı ölçme cihazı ile belirlenmiş olup termal geçirgenlikleri ise bazalt örneklerinin adyabatik sistem içerisinde özgül ısı sabitlerinin (c_p , bazalt) bulunması ile Karadeniz Teknik Üniversitesi Metalurji ve Melzeme Mühendisliği Bölümü laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. A1, M2 ve M3 lokasyonlarına ait bazalt örnekleri için kuru ve doymuş bazalt numuneleri olarak ölçümler toplamda 106 adet olacak şekilde yapılmıştır.

Her test üç kez tekrarlandı ve değerlerin ortalaması alınarak termal iletkenlik değerleri hesaplandı. Bu çalışmada termal iletkenlik ölçümlerinde kullanılan sensör 0-2 °C arasında hassas olup, bazaltlar için sıcaklık farkı 1 °C olarak alınmıştır. Bu çalışmada kullanılan numunelerin boyutları yaklaşık 6x4x1.5 cm³'tür. Ölçümler sırasında plakalar arasında boşluk kalmayacak şekilde yüzeyler düzleştirilmiş ve parlatılmıştır. Bu nedenle plakalar arası ısı transfer katsayısını ölçmek için kullanılan prob her iki yüzeyle tam temas halindedir.

Porozite (% n) deneylerinde toplam 40 adet silindirik şekilli örnekler kullanılmıştır. Ölçümlerde aşağıdaki eşitlikler'den yararlanılmıştır.

$$\text{Gözenek hacmi, cm}^3 = (W_D - W_K) \quad (1)$$

$$\text{Porozite (n) \%} = ((W_D - W_K) / V_T) \times 100 \quad (2)$$

Eşitlikte; W_D = doymuş ağırlık, W_K = kuru ağırlık ve V_T = toplam hacmi göstermektedir.

Porozite ve serpantinleşme oranının etkisini görebilmek için 3 farklı lokasyondan (A1, M2 ve M3) 1, 5 ve 8 nolu örneklerde özgül ısı ve termal geçirgenlik deneyleri yapılmıştır. Etüvde 80 °C'ye kadar ısıtılmış temsili bazalt numuneleri strfordan yapılmış adyabatik bir hazne içerisinde sıcaklığı 20 °C olan saf su içerisine bırakılmış ve denge sıcaklığı termokupullar ile ölçülmüştür. Buradan hareketle aşağıdaki eşitlikler kullanılarak bazalt numunelerinin özgül ısı ve termal geçirgenlik değerleri hesaplanmıştır.

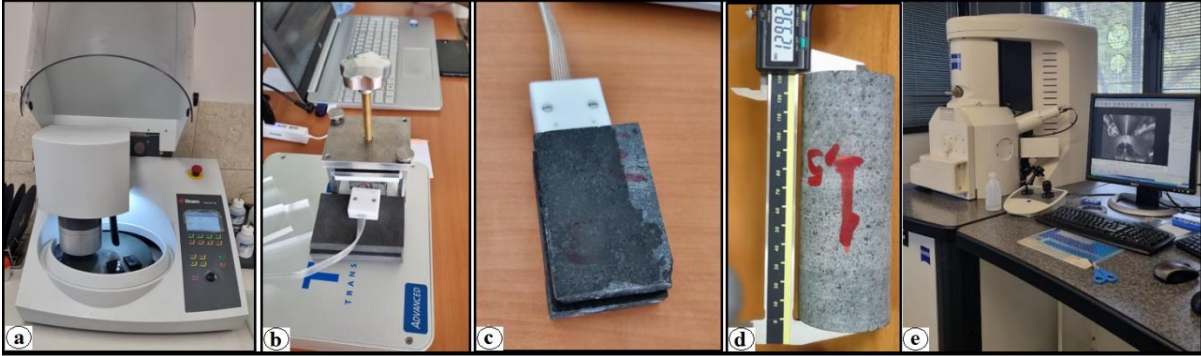
$$Q_{\text{Alınan}} = -Q_{\text{Verilen}} \quad (3)$$

$$m_{\text{su}} c_{p,\text{su}} (T_{\text{denge}} - T_{1,\text{su}}) = -m_{\text{bazalt}} c_{p,\text{bazalt}} (T_{1,\text{bazalt}} - T_{\text{denge}}) \quad (4)$$

$$\alpha = \frac{\text{iletlenen ısı}}{\text{depolanan ısı}} = \frac{k}{\rho \cdot c_p} \quad (5)$$

Burada, α termal geçirgenlik, k ısıl iletkenlik katsayısı, ρ yoğunluk, c_p özgül ısı değeridir.

Bazalt örneklerinin A1, M2 ve M3 için TEM analizleri de ayrıca yapılmış olup, her numune doku, mikro çatlakların varlığı vb. açısından değerlendirilmiştir. Tablo 1'de kuru ve doymuş koşullar için ortalama termal iletkenlik, ve porozite değerleri ile üç örnek için termal geçirgenlik ve özgül ısı değerleri listelenmektedir. Termal geçirgenlik parametresinin hesaplanmasında kullanılan örnekler için yoğunluk değerleri A1 (1), M2 (5) ve M3 (8) için sırasıyla 2.90, 2.80 ve 2.78 gr/cm³' tür. 1'den 4'e kadar olan bazalt örnekleri A1'e, 5 ve 6 numaralı örnekler M2'ye, 7 ve 8 numaralı örnekler M3'e aittir. Laboratuardaki bazı deneysel çalışmaların bir görünümü Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 2. Deneyle tabi tutulan bazı örnekler; yüzey düzeltme işlemi (a), ısı iletkenlik ölçümleri (b, c), porozite için hacim hesaplama (d), TEM (Taramalı Elektron Mikroskop) analizi (e) Some examples classified according to experiments; surface smoothing process (a), thermal conductivity measurements (b, c), volume programming for porosity (d), TEM (Scanning Electron Microscope) analysis (e)

Tablo 1. Bazaltların ısı iletkenlik ve porozite değerleri (Strength and apparent porosity values of basalts)

Kaya kodu	Isıl İletkenlik _{Kuru} (W m ⁻¹ K ⁻¹)	Isıl İletkenlik _{Doymuş} (W m ⁻¹ K ⁻¹)	Isıl geçirgenlik (m ² / s)	Özgül ısı (J / kg °K)	n (Porozite) (%)
1	1.5870	1.6260	0.89 x 10 ⁻⁶	615	0.65
2	1.5602	1.6058	-	-	0.66
3	1.5022	1.5144	-	-	0.84
4	1.5276	1.5338	-	-	0.75
5	1.0499	1.2215	0.62 x 10 ⁻⁶	600	2.48
6	0.5207	0.9867	-	-	3.11
7	0.4042	0.7830	-	-	4.22
8	0.3685	0.4045	0.23 x 10 ⁻⁶	583	5.29

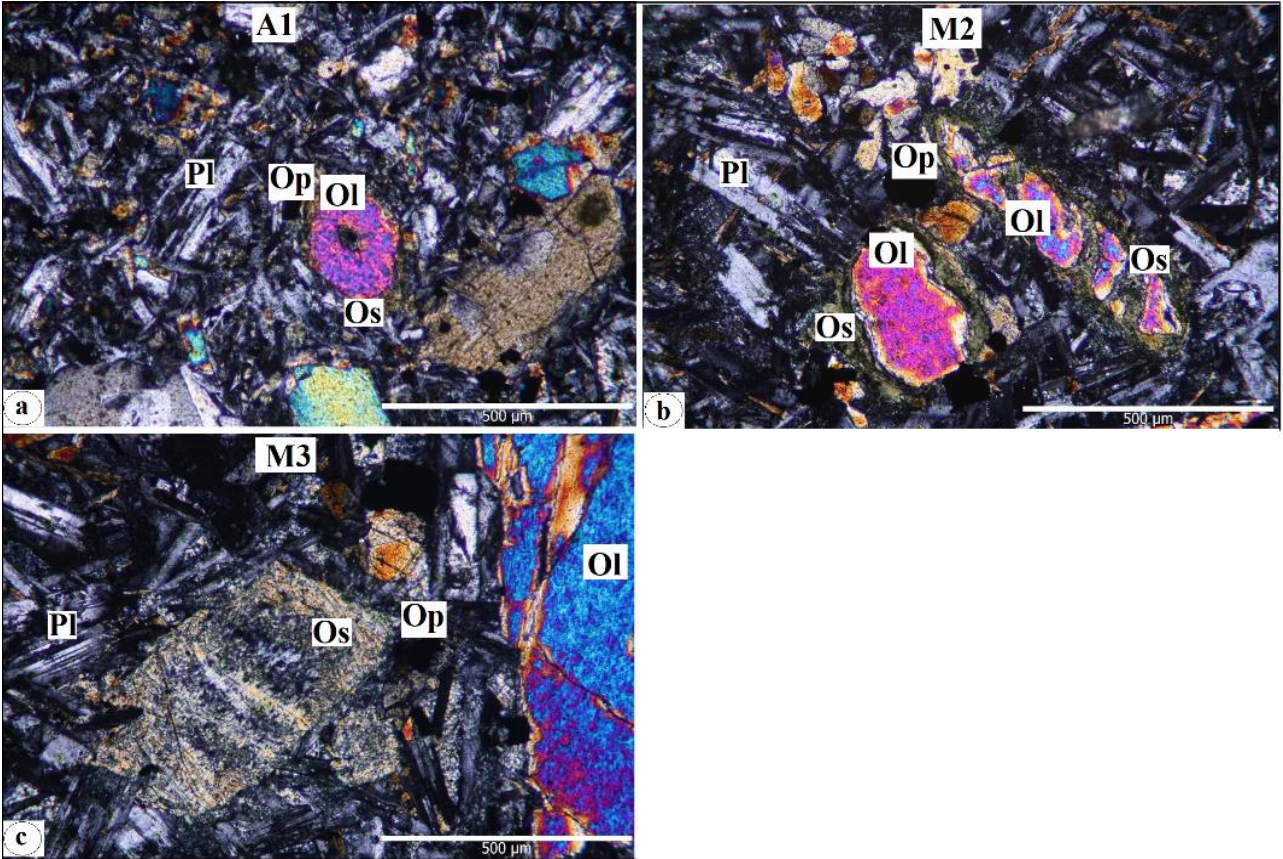
A1: 1-4, M2: 5-6, M3=7-8 nolu örnekler

2.3. Petrografik ince kesit analizleri (Petrographic thin section analyses)

İnce kesit analiz sonuçlarına göre her üç bölgeden alınan kayaların adı olivin ojit bazalt olup mikrogronü-mikrolitik porfirik dokuya sahiptirler. Ana mineral olarak çalışılan bazaltlarda labradorit, ojit, biyotit, olivin ve opak (magnetit) mineraller gözlemlenmiştir. A1 bazaltlarında ortalama mineral yüzdeleri labradorit % 48.5, ojit % 26.25, olivin % 19, biyotit % 2.25, gözeneklilik % 1.5 olarak belirlenmiştir. Olivinlerde serpantinleşme oranı % 8.25'tir. M2 bazaltlarında ortalama mineral yüzdeleri labradorit % 47, ojit % 25.5, olivin % 19.5, biyotit % 3, gözeneklilik % 2 olarak belirlenmiştir. Olivinlerde serpantinleşme oranı % 22'dir. M3 bazaltlarında ortalama mineral yüzdeleri labradorit % 46.5, ojit % 27.5, olivin % 19.5, biyotit % 2.5, gözeneklilik % 2 olarak belirlenmiştir. Olivinlerde serpantinleşme oranı % 75.5'tir. A1, M2 ve M3 bazaltlarının mikrogronü-mikrolitik hamuru içerisindeki olivinlerin serpantinleşme oranı toplam kayadaki serpantinleşme oranına yaklaşık olarak eşittir. A1, M2 ve M3 bazaltlarına ait en düşük ve en yüksek mineral yüzdeleri ve serpantinleşme oranları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Bazaltların ince kesit analiz sonuçları (Thin section analysis results of basalts)

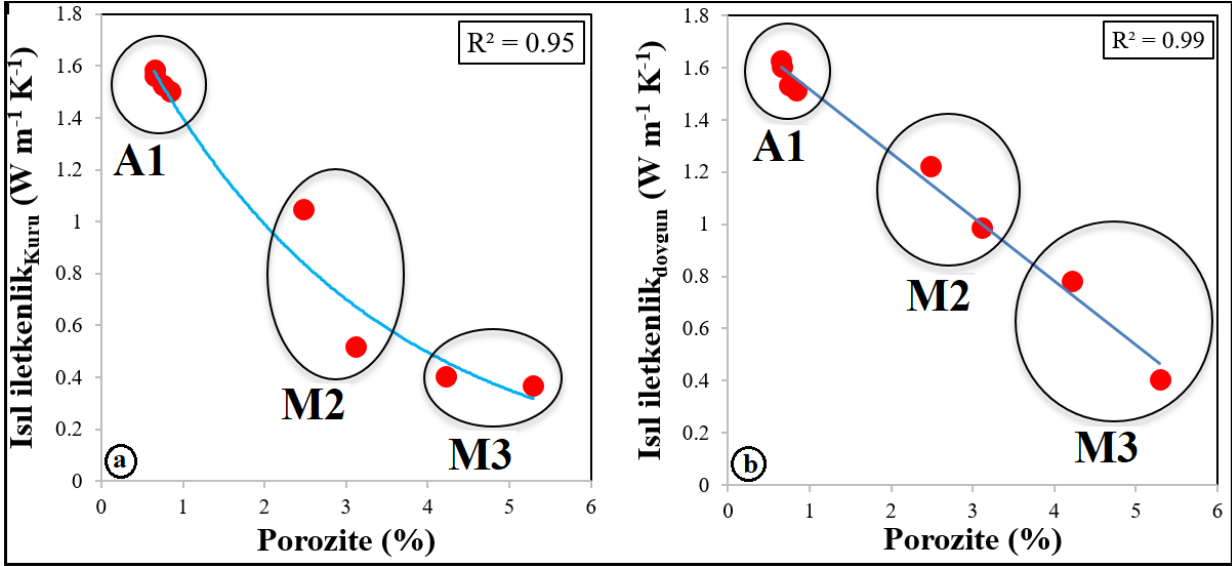
Mineraller	Ortalama mineral içeriği (%)		
	A1	M2	M3
Labradorit	47-50	46-48	46-47
Ojit	25-28	26-27	27-28
Opak	2-3	3	2
Olivin	18-20	19-20	19-20
Biyotit	2-3	3	2-3
Boşluk	1-2	2	2
Os	5-15	15-35	70-80



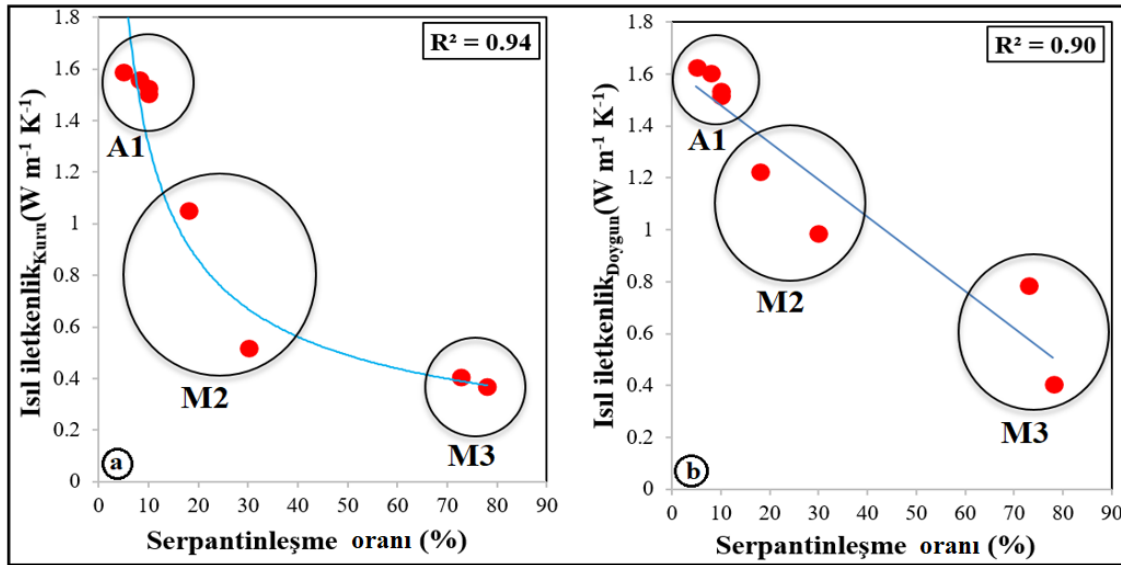
Şekil 2. Bazaltların mikroskop görüntüleri, A1 (a), M2 (b) ve M3 (c), Pl: Plajiyoklaz, Ol: Olivin, Op: Opak mineral, Os: Olivinin serpantinleşme oranı (Microscope camera of basalts, A1 (a), M2 (b) and M3 (c), Pl: Plagioclase, Ol: Olivine, Op: Opaque mineral, Os: Serpentinization rate of olivine)

3. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

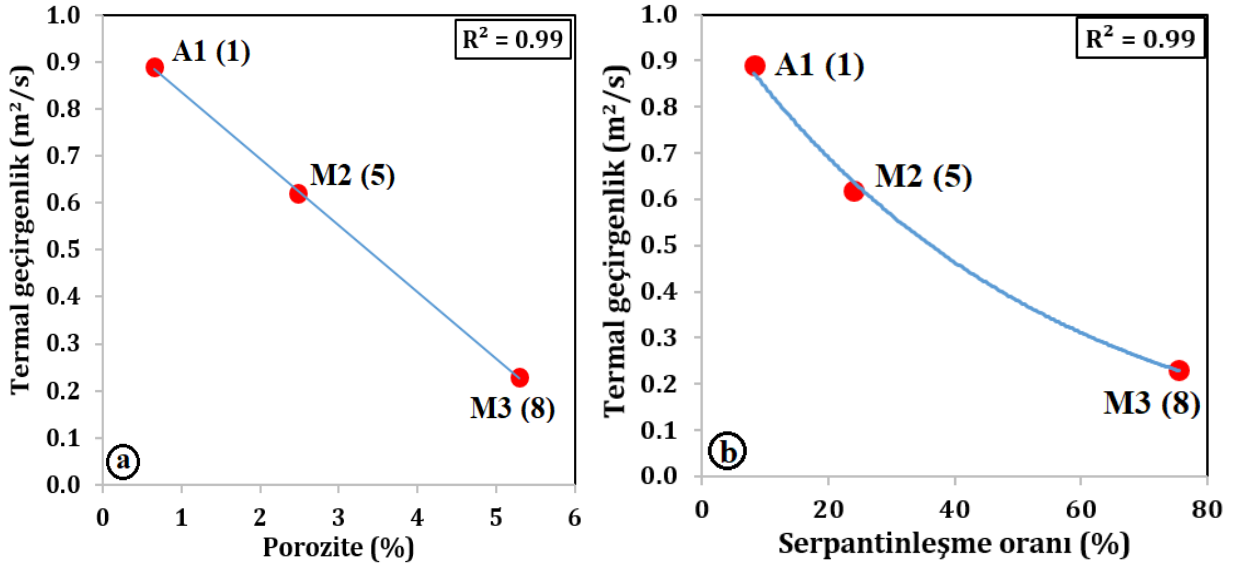
Tablo 1 değerlendirildiğinde ısı iletkenlik, ısı geçirgenlik ve porozite değerlerinin A1, M2 ve M3 bölgeleri için farklılık arz ettiği anlaşılmaktadır. Bu farklılığı daha iyi anlamak ve parametreler arasındaki ilişkiyi görebilmek için korelasyon grafikleri çizilmiştir (Şekil 4a ve b). Grafikler incelendiğinde doymun ve kuru ısı iletkenlik değerleri ile porozite arasında çok yüksek korelasyon katsayıları elde edilmiştir ($R^2 > 0.90$). Porozite değerlerinin artmasıyla kuru ve doymun ısı iletkenlik değerlerinin düştüğü gözlemlenmiştir. Tablo 2 incelendiğinde ise bazaltların mineral içeriği genel olarak eş değerdir. Ancak, bazaltlar içerisinde yaygın olarak bulunan olivin minerallerinde 3 bölge için değişen oranlarda serpantinleşmeye rastlanmıştır. Söz konusu ısı iletkenlik ve porozite değerlerindeki değişime neden olan en önemli faktörün artan serpantinleşme oranı olduğu kanaatine varılmıştır. Serpantinleşme oranı ve doymun ve kuru ısı iletkenlik değerleri arasındaki ilişki bütün kayalar için araştırılmıştır (Şekil 5a, b). Grafiklere göre serpantinleşme oranı arttıkça doymun ve kuru ısı iletkenlik değerleri düşmüştür. Isı geçirgenlik ile porozite ve serpantinleşme oranı arasındaki ilişkiler Şekil 6 a ve b'de gösterilmiştir. Isı iletkenliğe benzer olarak ısı geçirgenlik değerleri arttıkça hem porozite de hem de serpantinleşme oranında düşüş görülmüştür.



Şekil 3. Serpantinleşme oranı ve görünür porozite arasındaki ilişki, bütün örnekler (a), kuru ve doymun durum (b) (The relationship between the degree of serpentinization and the apparent porosity, all samples (a), dry and saturated state (b))

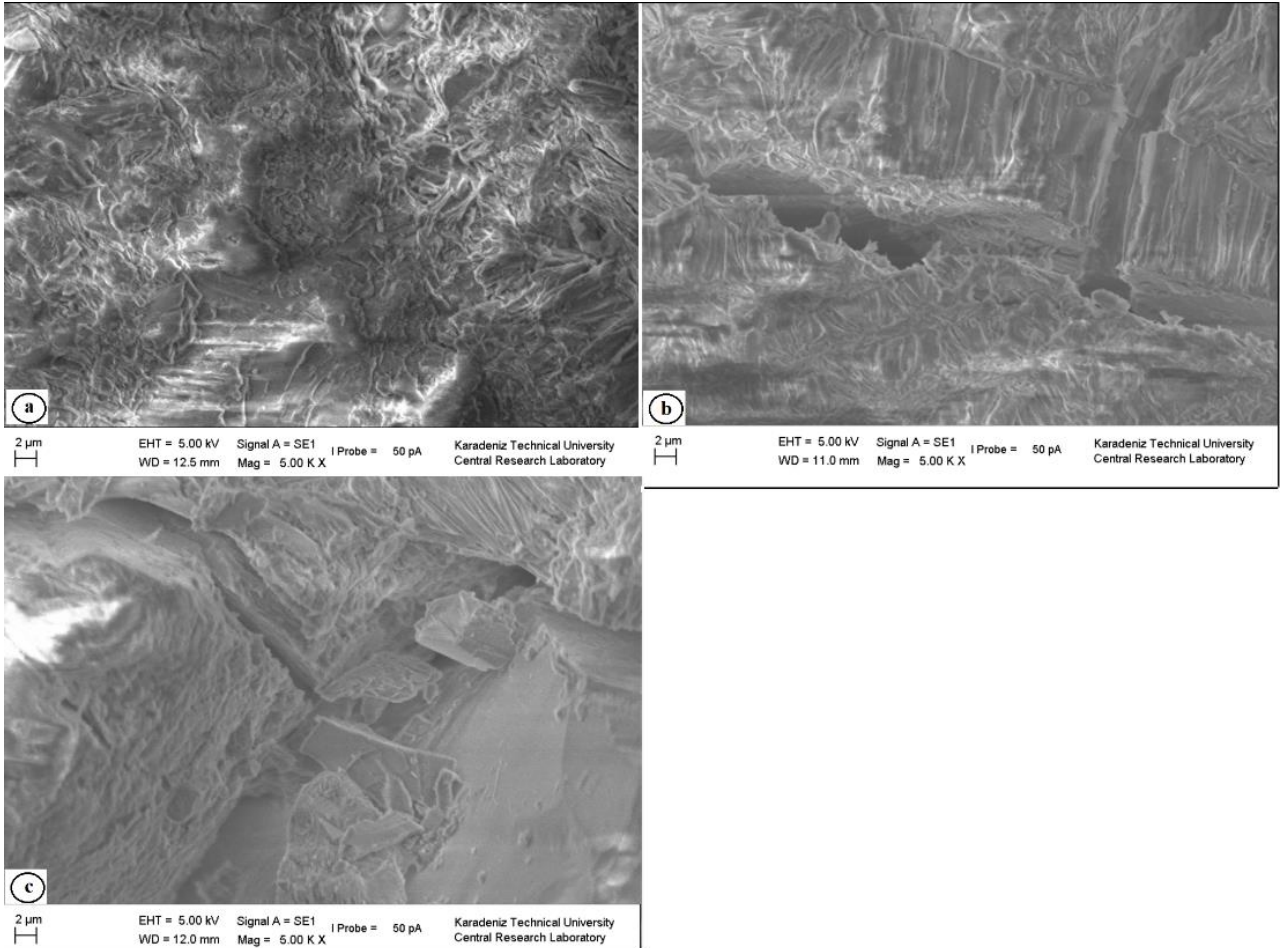


Şekil 4. Serpantinleşme oranı ve görünür porozite arasındaki ilişki, bütün örnekler (a), kuru ve doymun durum (b) (Relationship between degree of serpentinization and apparent porosity, all samples (a), dry and saturated state (b))



Şekil 5. Termal geçirgenlik ($\times 10^{-6}$) ile porozite (a) ve serpantinleşme oranı arasındaki ilişki (b) (Relationship between thermal diffusivity ($\times 10^{-6}$) with porosity (a) and rate of serpentinization (b))

Bazaltlara ait TEM (Taramalı Elektron Mikroskop) görüntüleri A1, M2 ve M3 için Şekil 6'da yer almaktadır. TEM (Taramalı Elektron Mikroskop) analizlerine göre mikro çatlaklar özellikle M2 ve M3 bazaltlarında yaygındır. A1 bazaltlarının dokusal özellikleri açısından daha sağlam olduğu ve yapısal kusurlardan diğerlerine göre daha uzak olduğu anlaşılmıştır. Dolayısıyla TEM (Taramalı Elektron Mikroskop) analizleri ile A1'in ısı iletkenlik değerlerinin yüksek olması ve porozitesinin düşük olmasını sağlayan içsel yapısı ortaya çıkmıştır.



Şekil 6. Bazaltların TEM görüntüleri; A1 bazalt (a), M2 bazalt (b), M3 bazalt (c) SEM (Scanning Electron Microscope) images of basalts; A1 basalt (a), M2 basalt (b), M3 basalt (c))

Literatürde serpantinleşme oranı ile kayaçların bazı mühendislik parametreleri arasında ilişki kurulmuştur. Diamantis vd. (2016) serpantinleşme oranı % 3 ila % 92 arasında değişen kayaçlar kullanmışlar ve serpantinleşme oranı ile kohezyon ve içsel sürtünme açısı arasında korelasyon analizleri yapmışlardır. Giannakopoulou vd. (2018) ofiyolit kompleksine ait, lerzolit, harzburjit ve dunit içeren peridotitlerdeki serpantin yüzdesi ile kaya dayanımı arasında orta derecede bir ilişki ($R^2=0.62$) bulmuşlardır. Bu çalışmada ise ısı iletkenlik değerleri ile serpantinleşme oranı arasında güçlü bir ilişki elde edilmiştir.

Aynı yaşa (Eosen) ait aynı litolojiye ait bazaltlardan elde edilen değerler oldukça farklıdır. Bunun nedeni ilk başta porozite değerlerindeki farklılık gibi görünmektedir. Ancak porozitenin farklı olmasına neden olan etkenlerden biri de şüphesiz farklı bölgedeki bazaltları etkileyen olivinlerin serpantinleşmesidir. Serpantinleşme kayaçların iç genişlemesine yol açmakta, meydana gelen basınç nedeniyle özellikle M2 ve M3 bazaltlarında mikro çatlakların geliştiği kanaatine varılmıştır. Aynı litolojiye sahip olmasına rağmen serpantinleşme derecelerinin oldukça farklı olmasının nedenleri ise sahada bulunan bazı jeolojik unsurlardır. Şekil 1b'de çalışma sahasına ait jeolojik harita incelendiğinde çalışma sahası yakın civarında bir volkan konisi ve 2 adet fay bulunmaktadır. Bunlar alterasyondan sorumlu başlıca jeolojik unsurlar olarak düşünülmüştür. M3 grubu bazaltlar volkan konisine en yakın (< 1 km) iken, A1 grubu bazaltlar en uzak (10 km) noktada bulunmaktadır. Ayrıca M3 bazaltlarına yakın mesafede orta boy bir fay mevcuttur. M2 grubu bazaltlar, fay konağına yakın ancak, M3 grubuna oranla volkan konisinden uzaktadır. A1 bazaltları ise her iki yapısal unsurdan (fay ve volkan konisi) daha uzakta yer almaktadır. Ayrıca stratigrafik olarak A3 grubu bazaltların en üstte bulunması, A2 grubu olanların M3'ün alt seviyesinde ve A1 bazaltlarının ise en alt konumda bulunması yüzeysel alterasyondan etkilenme durumlarını değiştirmektedir.

Görüldüğü gibi kayaçlar özellikle bazaltlarda serpantinleşmeden dolayı gözenekliliğin artması ısı depolamanın azalmasına yol açmaktadır. Ayrıca yapılan çalışma sonucunda bulunan ısı iletim katsayısı ve termal geçirgenlik değerleri, artan serpantinleşmeden dolayı azalma eğilimi göstermiştir. Buradan hareketle serpantinleşmeden doğan gözeneklilik hem ısı iletim katsayısı ile hem de ısı depolama ile doğrudan bağlantılıdır. A. Andreozzi vd. (2012) yaptıkları çalışmada porozite n (%) değeri 0.2 den 0.6 ya artarken ısı depolama değerinde düşme olduğu görülmüştür. Sunulan bu çalışmada da porozite n (%) değeri 0.65 ile 5.29 arasında artarken, kuru ısı iletim katsayısı $1.6260-0.4045$ ($Wm^{-1}K^{-1}$), Doygun ısı iletim katsayısı $1.5870-0.3685$ ($Wm^{-1}K^{-1}$) değerleri arasında azalma eğilimi göstermiştir. Bazaltlarda gözenekliliğin düşmesiyle ısı iletim katsayısının ve ısı depolamanın arttığı yapılan çalışma ile görülmüştür.

Kaya kaynaklı ısı depolama sistemleri su bazlı sistemlere göre çok daha yüksek sıcaklıklara dayanabilmektedir. Örneğin; Konut uygulamalarında yaygın olarak algılanan ısı depolama malzemeleri için gerekli parametrelerden biri de termal iletkenlik katsayı değeridir. Söz konusu değer 0,3 $Wm^{-1}K^{-1}$ den yüksek olması durumunda iyi termal iletkenlik kapsamında değerlendirilebilmektedir (Yalçınkaya, 2022) . Bu çalışmada kullanılan bazaltlarda özellikle taze olanların ve serpantinleşme oranları düşük olanların termal iletkenlik katsayıları mühendislik uygulamaları açısından tatmin edici görünmektedir. Ancak kaya malzemelerin ısı depolama malzemesi olarak kullanıldığı durumlarda sahanın büyüklüğüne bağlı olarak ısı iletkenlik değerleri oldukça değişkenlik gösterecektir. ısı depolamak amacıyla kullanılan kayaçlar, ocağın büyüklüğüne bağlı olarak fay hattına ve volkan konisi gibi jeolojik yapılarla yakınlığına bağlı olarak alterasyona maruz kalabilmektedir. Dolayısıyla ısı depolama özelliği ile doğrudan ilişkili olan ısı iletkenlik katsayılarında düşüşler yaşanabilmektedir.

5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Bu çalışmada, kayaçların ısı iletkenlik, ısı geçirgenlik ve buna bağlı ısı depolama özelliklerinin incelenmesi açısından aynı sahanın farklı noktalarından alınan bazalt örnekleri kullanılmıştır. Mineralojik ince kesit analizleri, olivinin serpantinleşmesinin A1, M2 ve M3 bazaltları için sırasıyla ortalama % 8.25, % 24 ve % 75.5 olduğunu göstermiştir. Olivinlerdeki artan serpantinleşme oranı nedeniyle ısı iletkenlik katsayıları oldukça azalmıştır. Bu çalışmada bazaltların ısı iletkenlik, ısı geçirgenlik ile porozite ve serpantinleşme oranı arasında güçlü ilişkiler görülmüştür. Serpantinleşme kayaçların iç genişlemesine neden olacağından oluşan basınç nedeniyle özellikle M2 ve M3 bazaltlarında mikro çatlakların geliştiği dolayısıyla porozite değerlerini artırdığı düşünülmektedir. Bazaltlarda aynı sahadan alınsa bile birbirinden oldukça farklı serpantinleşme oranı görülmüştür. Özellikle M3 bazaltlarındaki serpantinleşmeye volkan konisi ile fay hattına yakınlık ve M3'ün stratigrafik olarak daha yüksek kotlarda bulunmasının neden olabileceği düşünülmüştür. Sonuç olarak ısı depolama malzemesi olarak kullanılan kayaçlara ait büyük ölçekli sahalarda ısı iletkenlik ve ısı geçirgenlik katsayılarındaki değişimler araştırılmalı ve varsa serpantinleşme gibi alterasyon ürünleri kontrol edilmelidir. Bu nedenle ısı depolama amacıyla kaya içinde yapılan mühendislik çalışmalarının düşük alterasyonlu bölgelerde yürütülmesi, ısı depolama, üretim ve ekonomi açısından bir kazanımdır.

Teşekkür (Acknowledgement)

Yazarlar, Prof. Dr. Mehmet Emin ARICIYA'ya, Prof. Dr Ahmet SARI'ya, Isı ölçümlerinde Arş. Gör. Serhat Berk AKÇAY, TEM analizlerindeki yardımları için Öğr. Gör. Ümit ÖZSANDIK'a teşekkür ederler.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

Kaynaklar (References)

- Andreozzi, A., Buonomo, B., Manca, O., Mesoella, P., Tamburrino, S., (2012). Numerical investigation on sensible thermal energy storage with porous media for high temperature solar systems. *Journal of Physics*, 395
- Benjamin Bouvry, B., Carrion, A.J.F., Banda, E.J.K., (2017). Mediterranean basin basalts as potential materials for thermal energy storage in concentrated solar plants. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 50-59.
- Okello, D., Fonng, C.W., Niydal, O.J., (2014). An experimental investigation on the combined use of phase change material and rock particles for high temperature (350 0C) heat storage. *Energy Conversion and Management*, 1-8.
- Yalçınkaya, D.Y., Günerhan, H., Hepbaşlı, A., Bayramian, H., (2022). Duyulur Isıl Enerji Depolama Sistemlerinin Enerji Yönünden İncelenmesi. *Engineer and Machinery*, 159-185.
- Dincer, I. (1999). Evaluation and selection of energy storage systems for solar thermal applications. *International Journal of Energy Research*, 1017-1028.
- Dincer, I. (2002). On thermal energy storage systems and applications in buildings. *Energy and Buildings*, 377-388.
- Furnas, C.C., (1930). Heat transfer from a gas stream to a bed of broken solids-II. *Industrial and Engineering Chemistry*, 721-731.
- Hasnain, S.M., Smiai, M., Al-Saedi, Y., Al-Khaldi, M., (1996). Energy Research Institute-Internal Report, KACST, Riyadh, Saudi Arabia.
- Liu, J., Chang, Z., Wang, L., Xu, J., Kuang, R., Z Wu, Z., (2020). Exploration of basalt glasses as high-temperature sensible heat storage materials. *ACS OMEGA*, 19236-19246.
- Park, J-W., Park, D., Choi, B-H., Park, E-S., (2014). Analysis on heat transfer and heat loss characteristics of rock cavern thermal energy storage. *Engineering Geology*, 142-156.
- Kozak, M., Kozak, Ş., (2012). Enerji Depolama Yöntemleri. *Mechanical Technology*, 17-29.
- Schumann, T., (1929). Heat Transfer. A. liquid flowing through a porous prism. *Journal of the Franklin Institute*, 405-416.
- Nahhas, T., Py, X., (2019). Experimental investigation of basalt rocks as storage material for high-temperature concentrated solar power plants. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 226-235.
- Jemmala, Y., Zari, N., (2017). Experimental characterization of siliceous rocks to be used as filler materials for air-rock packed beds thermal energy storage systems in concentrated. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 33-42.



MODELING THE BENDING BEHAVIOR OF STEEL FIBER-REINFORCED CONCRETE BEAMS

Mehmet Alper ÇANKAYA ^{1*}

¹ İzmir Kâtip Çelebi University, Faculty of Engineering and Architecture, Civil Engineering Department, İzmir, Türkiye

Keywords

Steel Fiber-Reinforced Concrete (SFRC), Analytical Modeling of Steel Fiber Contribution, Finite Element Analysis, Bending Behavior of SFRC Beams.

Abstract

In this study, modeling of the bending behavior of large-scale steel fiber-reinforced concrete beams (SFRC) was investigated using the Modified Compression Field Theory (MCFT) based non-linear finite element (NLFE) method and an analytical method. The two analysis methods included different modeling approaches for the contribution of steel fibers to the tensile strength of reinforced concrete. In the first approach, the residual tensile strength of fibrous concrete was related to the crack width and adopted into the MCFT-based NLFE method. However, the residual tensile strength was free from the crack width in the second approach, which was employed in the analytical method. The capabilities of the mentioned analysis methods were investigated on an experimental study selected from the literature. The experimental study included the four-point bending tests of five four-meter-long simply supported SFRC beams having various ratios of longitudinal reinforcement and fiber content. Results revealed that the MCFT-based NLFE method performed superior in representing the large-scale member responses (such as load-carrying capacity, crack profiles, and flexural stiffness) for the selected loading and boundary conditions while the simplified analytical tool was found to be always conservative in the determination of strength regardless of conventional reinforcement and fiber ratio. However, the rate of error was apparently proven to be highly dependent on the tensile reinforcement ratio.

ÇELİK LİFLİ BETONARME KİRİŞLERİN EĞİLME DAVRANIŞININ MODELLENMESİ

Anahtar Kelimeler

Çelik lifli betonarme, Çelik lif katkısının analitik modellenmesi, Sonlu elemanlar analizi, Çelik lifli betonarme kiriş eğilme davranışı.

Öz

Bu çalışmada, büyük ölçekli ve çelik lif takviyeli betonarme kirişlerin eğilme davranışının modellenmesi incelenmiştir. Araştırmada, Değiştirilmiş Basınç Alanları Teorisi' ne (DBAT) dayanan doğrusal olmayan bir sonlu elemanlar yöntemi (DOSE) ile analitik bir yöntem kullanılmıştır. Analiz yöntemlerinde çelik liflerin betonarme çekme dayanımına katkısı farklı yaklaşımlarla modellenmiştir. İlk yaklaşımda lifli betonun artık çekme dayanımı çatlak genişliği ile ilişkilendirilmiş ve DBAT tabanlı DOSE yöntemine uyarlanmıştır. Analitik yöntemde ise artık çekme dayanımı çatlak genişliğinden bağımsız olarak kabul edilmiştir. Söz konusu analiz yöntemlerinin performansları literatürden seçilen deneysel bir çalışma üzerinde incelenmiştir. Deneysel çalışmada, değişken oranlarda boyuna donatı ve lif içeriğine sahip dört metre uzunluğundaki beş adet betonarme kirişin dört nokta eğilme testleri gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, DBAT tabanlı DOSE yönteminin, seçilen yükleme ve sınır koşullarında büyük ölçekli betonarme eleman davranışını (yük taşıma kapasitesi, çatlak profilleri ve eğilme rijitliği gibi) başarıyla temsil ettiğini göstermiştir. Diğer yandan, analitik metodun, yük taşıma kapasitesini donatı ve lif oranından bağımsız olarak her zaman daha düşük tespit ettiğini ortaya koymuştur. Bu yöntemdeki hata oranının büyük ölçüde çekme donatısı oranına bağlı olduğu açıkça ortaya konmuştur.

Alıntı / Cite

Çankaya, MA., (2023). Modeling the Bending Behavior of Steel Fiber Reinforced Concrete Beams, Journal of Engineering Sciences and Design, 11(4), 1496-1507

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

M. A. Çankaya, 0000-0002-5491-3425

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	06.12.2022
Revizyon Tarihi / Revision Date	21.06.2023
Kabul Tarihi / Accepted Date	19.10.2023
Yayın Tarihi / Published Date	30.12.2023

* Corresponding author: mehmetalper.cankaya@ikcu.edu.tr, +90 232 3293535 (Ext: 3730)

MODELING THE BENDING BEHAVIOR OF STEEL FIBER-REINFORCED CONCRETE BEAMS

Mehmet Alper Çankaya^{1†}

¹İzmir Kâtip Çelebi University, Faculty of Engineering and Architecture, Civil Engineering Department, İzmir, Türkiye

Highlights

- A detailed review of modeling methodologies of fiber-reinforced concrete.
 - Analyzing the four-point bending behavior of large-scale steel fiber-reinforced concrete beams through two different modeling approaches.
 - The investigation of sensitivity and accuracy of the selected modeling methods in estimating the structural characteristics.
-

Purpose and Scope

This study aims to investigate the capabilities of different approaches in modeling the bending behavior of large-scale SFRC beams. Within this scope, the MCFT-based NLFE analysis method and a simplified analytical method were used for modeling the bending behavior of fibrous beams selected from the literature.

Design/methodology/approach

In the selected analysis methods, different approaches were adopted for the contribution of steel fibers to the tensile strength of reinforced concrete. The variable engagement model (VEM) was used in the MCTF-based NLFE method as a constitutive model for FRC in tension. This model established a link between the crack width and the residual tensile strength. However, in the analytical method, the residual strength was free from the crack width.

Findings

- Introducing the fiber contribution to the tensile strength through VEM in the MCTF-based NLFE is successful in estimating the load-bearing capacity, crack pattern, and the overall trend of the load-deflection curve until a defined failure point for the fibrous beam members subjected to four-point bending.
- The simplified analytical method always underestimated the load-bearing capacity and the error tended to increase in lightly reinforced beams having relatively high fractions of fibers. Finally, it should also be noted that this method will not yield a reliable estimation of flexural stiffness since the crack profile of the members is not taken into consideration.

Originality

The main novelty of this study is investigating the sensitivity and accuracy of a relatively recent modeling methodology, VEM, for the fiber contribution to concrete tensile strength in the MCFT-based NLFE method.

1. Introduction

The usage of steel fibers is still limited to non-critical members of civil engineering structures such as precast tunnel lining segments (Plizzari and Tiberti, 2006), concrete pavements (Elsaigh et al., 2011; Meda and Plizzari, 2004), and industrial building floors generally for crack control and durability (Saatci and Batarlar, 2017). However, there is an increasing trend in understanding the effect of steel fibers on the behavior of load-carrying reinforced concrete (RC) members (Saatci and Batarlar, 2017; Xu et al., 2019) in recent studies.

In the literature, analytical methods are available to model and analyze the structural behavior of steel fiber-reinforced concrete (SFRC) members through cross-sectional analysis (Campione, 2008), (Hameed et al., 2018). Two basic approaches are followed in the flexural analysis of fiber-reinforced concrete beams. In the first and simple approach, in addition to some basic assumptions such as the perfect bond between steel bars and concrete

[†] Corresponding author: mehmetalper.cankaya@ikcu.edu.tr, +90 232 3293535 (Ext: 3730)

and plane section remaining plane after bending, uniformly distributed strength contribution of residual tensile strength of fiber reinforced concrete (FRC) free from the crack width is being utilized (Campione, 2008). However, the second approach is more complicated since the residual tensile strength in the cracked region is related to the width of the crack (Lee et al., 2013). From the mechanical point of view existence of steel fibers in concrete material results in a ductile post-cracking behavior since it provides a bridging effect in the cracks (ACI, 2018). This also prevents the state of brittle failure due to a large collection of mechanical stress around the cracked region as reported by (Yaylacı, 2016, and 2022), and many studies (Marti et. al, 1999; Leutbecher and Fehling, 2008) have been undertaken regarding the residual tensile stress after cracking as a function of crack width in the literature. Apart from the analytical methods, more sophisticated non-linear finite element (NLFE) implementations were also developed and using such a complex method generally requires experience and extreme caution since they are backed by various theoretical approaches and behavior models (second-order effects, constitutive relations) (Vecchio and Palermo, 2000). Among these theoretical approaches, the Modified Compression Field Theory (MCFT) was proven to be one of the most powerful tools in representing the member behavior by considering the cracked concrete as an orthotropic material using a smeared, rotating crack model (Vecchio and Collins, 1986; Vecchio, 2000).

Adoption of modeling the fiber contribution to the tensile strength of concrete as in (Marti et. al, 1999; Leutbecher and Fehling, 2008) into the MCTF-based NLFE method is a relatively new topic and thus, the research on the accuracy of this method is very limited in the literature (Susetyo et al., 2013). The current study is original in this context since it aims to investigate the applicability of the MCFT-based NLFE approach with one of the recently introduced constitutive models for FRC in tension, the variable engagement model (VEM), on the bending behavior of large-scale and doubly reinforced concrete beams having steel fibers. Furthermore, an attempt is also made to analyze the performance of the simplified analytical method in describing the bending behavior of such SFRC members. For this purpose, an experimental study involving four-point bending tests of five SFRC beams was selected from the literature (Meda and Plizzari, 2012). All the beam specimens were four meters long and consisted of two groups. Each group had either light or dense tensile reinforcement ratio. Besides, three of them included various volume fractions of fibers while the remaining two were the control samples w/o fibers. Once the analytical analysis was completed, the numerical study was followed using MCFT-based NLFE code VecTor2 (Vecchio and Wong, 2002). Finally, analytical, and numerical results were compared with those of the experimental.

2. Selected Experimental Study

The current study aimed to analyze the pure flexural behavior of large-scale SFRC beams identical to those used in practical applications. Therefore, an experimental work involving four-point bending tests of four-meter-long simply supported and doubly reinforced beam specimens was selected from the literature (Meda and Plizzari, 2012). The geometry of beams and reinforcement details are presented in Figure 1.

As can be seen from the figure, the clear span between the supports was 3600 mm leaving 200 mm overhangs at each end. Additionally, the shear span to effective depth (a/d) ratio was 4.6. All the beams were full-scale and doubly reinforced. Moreover, they were designed to have two different tensile reinforcement ratios (0.75% and 1.5%) and volumetric steel fiber fractions (0.38% and 0.76%).

Ribbed and S500 type of steel was used as longitudinal reinforcements. The experimental mean yield and ultimate strengths were reported to be 534 and 630 MPa, respectively. On the other hand, the shear reinforcements with 8 mm diameter were located at each 100 mm spacing in the regions where shear forces are developing. During the testing stage, which is 147 days after concrete pouring, the cylinder compressive strength of plain concrete was reported to be 49.7 MPa while the remaining two concrete batches with 0.38 and 0.76% steel fibers were 45 and 43.2 MPa. The hooked-end steel fibers used in the study had a tensile strength of 1100 MPa with a geometry of 50 mm length and 1 mm diameter. Fracture properties of FRC were detected by four-point bending tests using 150x150x600 mm notched beams. In the experimental program, specimens were named with respect to their tensile reinforcement and fiber reinforcement content. For example, beam 2 ϕ 16-30 has two tensile reinforcements with 16 mm diameter and 30 kg/m³ steel fiber reinforcement content corresponding to 0.38% volume fraction. More details can be found in Meda and Plizzari (2012).

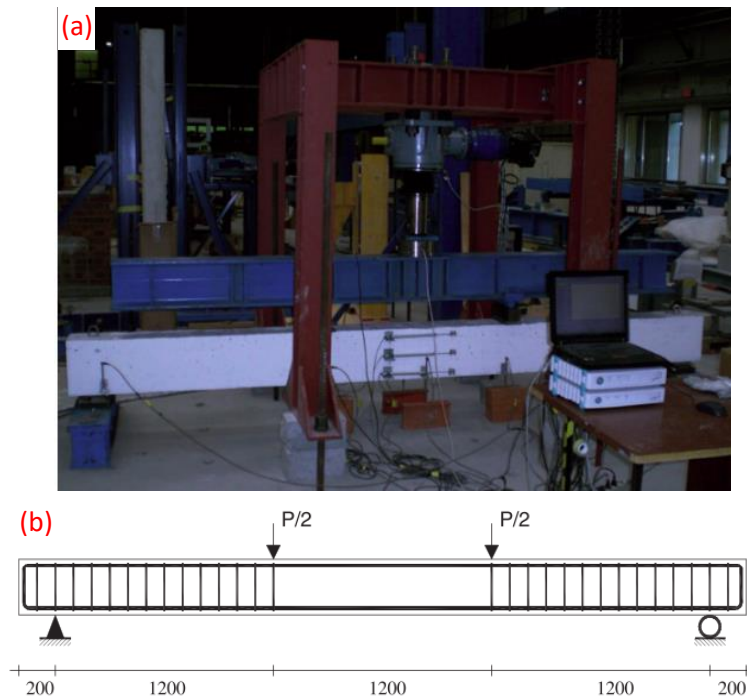


Figure 1. Overview of test setup (a), beam specimen, and reinforcement details with specimen geometry (b) (Meda and Plizzari, 2012)

3. Analytical Method

To investigate the flexural response of steel fiber-reinforced concrete beams, a relatively simple analytical method proposed by Campione (2008) was implemented in the current study. The method assumes average tension stress over the cracked region, independent of crack width and instantaneous curvature of the section. A typical strain and stress distribution on the uncracked and cracked beam sections is presented in Figure 2.

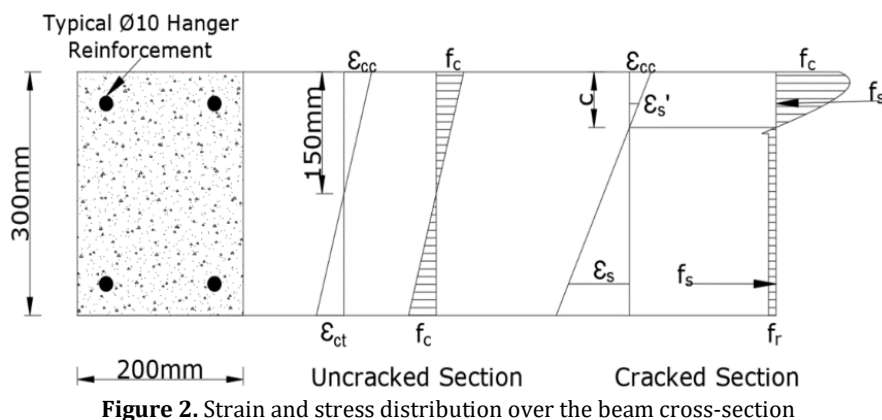


Figure 2. Strain and stress distribution over the beam cross-section

In the calculations, the stress-strain relation of concrete material prior to cracking was assumed to be linear, and the flexural cracking strength of fiber-reinforced concrete (f_{cr}) was taken from the experimental study as the results of four-point bending tests. These are reported to be 3.08 and 4.75 MPa respectively for 0.38 and 0.76% or in other words for 30 and 60 kg/m³ fiber content. The compressive stress-strain behavior of fiber-reinforced concrete was represented using a model proposed by Lee et al. (2015). This constitutive model accounts for the effects of fibers and separates the behavior pre- and post-peak since no significant lateral crack opening will be observed in the pre-peak compression behavior while the confinement effect due to the steel fibers will restrain the lateral crack opening. The modulus of elasticity (E_c) was calculated using the expression proposed by Lee et al. (2015). On the other hand, the compressive behavior of the beam specimens having plain concrete was modeled by Hognestad parabola (Hognestad, 1951) and E_c calculated from the expression given in TS500 (2000). Here it should be noted that the steel fiber additives will enhance the deformation capacity in concrete and therefore, strain beyond the peak point was evaluated to be triple the crushing strain of concrete (0.01) suggested in ACI 544. Based on Campione (2008), tension stress (f_t) was assumed to be constant in the cracked region, and the magnitude was detected according to ACI (1988) as given in Equation 1, in which λ_1, λ_2 and λ_3 are expected

pullout length ratio, efficiency factor of orientation in the cracked condition and group reduction factor related with the number of fibers pulling out per unit area, respectively. In addition, τ is the average bond stress of a single fiber embedded in the concrete and calculated using Equation 2 offered by Valle and Büyüköztürk (1993), and L/d is the ratio of fiber length to diameter.

Sectional analyses of beams were performed by utilizing a layer-by-layer analysis approach (Collins and Mitchell, 1997). Using the force equilibrium over the cross-section, moment and corresponding curvature values were detected in a stepwise procedure for a wide range of assumed compressive strains of concrete. Thus, moment-curvature curves could be obtained and were used in the computation of load-deflection curves. Analytically obtained moment-curvatures were detected to be in good agreement with that of experimentally available, Figure 3. Here, it should be stated that strain in the outermost concrete layer was detected up to 0.0066 and 0.003 in the experimental study since potentiometric devices that measures the curvature were removed before the end of the tests due to safety concerns.

$$f_r = \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 \tau V_f (L/d) \quad (1)$$

$$\tau = 0.66 \sqrt{f'_c} \quad (2)$$

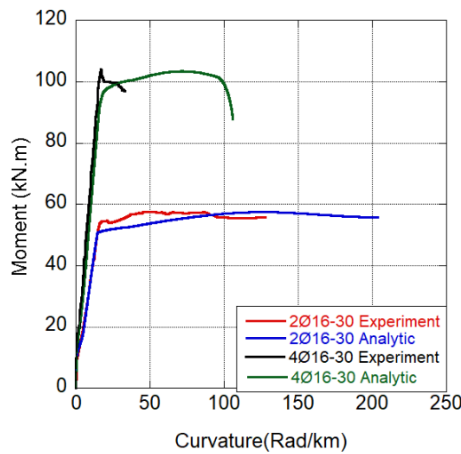


Figure 3. Analytical and experimental moment-curvature relations of beams 2φ16 and 4φ16 with 30 kg/m³ steel fiber additive

To determine the mid-span deflection, the full length of the beam was evaluated and divided into three pieces considering the existence of three different moment zones in the moment diagram. The moment value at the tip and end of each piece under a specific load and the corresponding curvature for the moment value were detected from the moment-curvature relation. Afterward, the mid-span deflection was calculated using the moment-area theorem. For this purpose, a MATLAB code was developed. In the analysis, the computation of mid-span deflection was done based on load increments.

4. Numerical Method

4.1 The Modified Compression Field Theory and Variable Engagement Model (VEM)

MCFT (Vecchio and Collins, 1986) is an analytical tool for predicting the load-deformation response of RC membrane elements subjected to shear and normal stresses. The model assumes that the cracks forming in the concrete are distributed over the entire volume (smeared crack) and it consists of three sets of relationships. These are (1) compatibility conditions of concrete and reinforcement average strains, (2) equilibrium conditions relating the external loads and internal resisting forces in concrete and reinforcement, and (3) constitutive relationships which are required to provide a connection between average stresses in the equilibrium relations and average strains in the compatibility relationships for both the reinforcement and the concrete. More details about the theory and finite element implementation can be found in Vecchio and Collins (1986) and Vecchio and Wong (2002).

Because average stresses and strains were used in the compatibility and equilibrium conditions, the average tensile stress in the cracked concrete is also taken into account. Therefore, a tension stiffening model is recommended for reinforced concrete. Furthermore, if fibers exist in RC, the tensile behavior should be assessed

using one of the methods described in the literature. In the current study, the Variable Engagement Model (VEM) (Voo and Foster, 2003) which is one of the outstanding constitutive models for FRC in tension, was selected. This model expresses the peak and post-peak characteristics of FRC under uniaxial tension and relates the tensile stress to the width of the crack. The main assumptions of the model are that the behavior of fiber-reinforced composites might be stated as the summation of concrete and fiber contributions, and constant bond stress between the fibers and concrete matrix identical to Marti et al. (1999). Each of the individual and randomly oriented, discontinuous fiber effect may then be summed in 3D space to represent the overall behavior of the composite.

4.2 Non-Linear Finite Element Modeling of Reinforced Concrete

The numerical simulations of four-point bending tests were conducted by a two-dimensional non-linear finite element code VecTor2 (VT2) (Vecchio and Wong, 2002). This software was developed for the analysis of RC members in plane stress conditions. It is using a rotating crack approach and is based on MCFT formulations (Vecchio and Collins, 1986).

Taking advantage of the symmetric load and support conditions, one-half of the beams were modeled instead of expensive full-scale modeling, Figure 4. Preprocessor FormWorks (Vecchio and Wong, 2002) was used for this purpose. All nodes located at the centerline of the beam were restrained against translation in the x-direction. The support plate was explicitly modeled and restrained against translation in the y-direction.

Four-point plane stress rectangular elements and two-point truss bar elements were used for modeling the concrete and rebars. A total of 1046 rectangular and 303 truss elements were created, and a perfect bond assumption was made between the concrete and rebar elements. The accuracy of each element size was determined by a mesh sensitivity analysis using 20-, 25- and 30-mm mesh size configurations. Considering a balance between the computational time and accuracy of obtained results such as the load-deflection curve, an optimum mesh size of 25 mm was selected for each element having an aspect ratio of a maximum 1.5. The beam specimens were subjected to 0.1 mm incremental displacement load in the negative y-direction from the loading plate. Selected constitutive models for concrete and steel are given in Table 1, and analysis models were taken to be default except for the crack allocation. In the preprocessor, the existing crack spacing/allocation formulations such as CEB-FIB 1978 or Eurocode 2 were derived for the plain reinforced concrete members without fibers, and hence average crack spacing was detected by visual inspection of the tested SFRC beams and found to be 120 mm. The compressive strength of fibrous and plain concrete, aggregate diameter, yield, and ultimate strength of steel rebars, in addition to the length, diameter, and tensile strength of fibers were taken from the experimental study. Rest of the necessary parameters were evaluated to be the software default which can be found in Vecchio and Wong (2002). Finally, it is worth mentioning that geometric non-linearity was incorporated in the numerical analysis regarding the secondary displacements, P-Delta effects, and other large displacements.

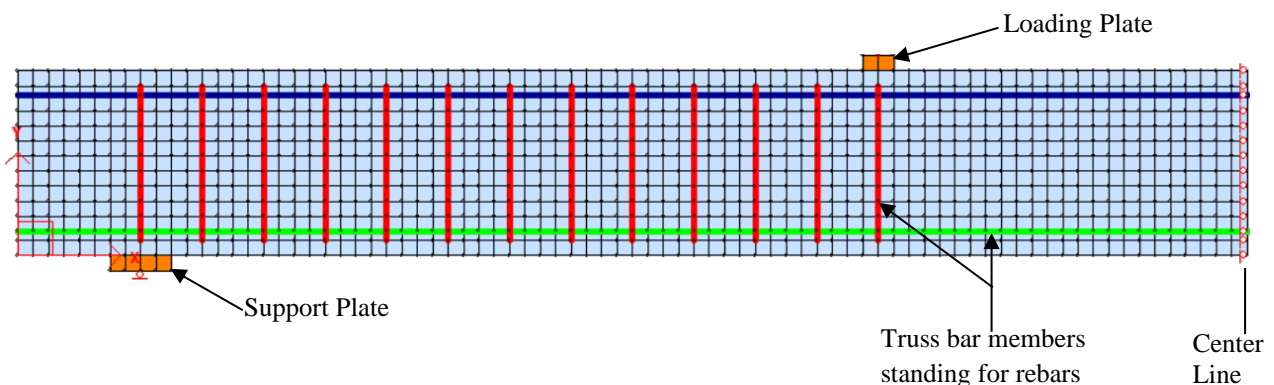


Figure 4. Numerical model of RC beams

Table 1. Constitutive models for the materials used

Material and Property	Model
• Concrete - Compression Pre-Peak	Beams w/o fibers: Popovics (HSC) Beams w/fiber: Lee et al 2011 (FRC)
• Concrete - Compression Post-Peak	Beams w/o fiber: Popovics/Mander Beams w/fiber: Lee et al 2011 (FRC)
• Concrete - Compression Softening	Vecchio 1992-A (e_1/e_2 form)
• Concrete - Tension Stiffening	Beams w/fibers: Lee 2010 (w/Post Yield) Beams w/o fibers: Modified Bentz 2003
• Concrete - Tension Softening	Beams w/o fiber: Exponential Beams w/steel fibers: Exponential
• FRC Tension	Variable engagement model (VEM)
• Steel Reinforcement - Dowel Action	Tassios (Crack Slip)
• Steel Reinforcement -Buckling	Akkaya 2012 (Modified Dhakal - Maekawa)

5. Comparative Results and Discussion

5.1 Behavior Under Load

Analytically and numerically calculated load-midspan deflection curves are compared with that of the experimental and presented in Figure 5 and 6. As can be seen from the figures below, analytically computed maximum external loads were detected to be 2.70 to 6.20% lower than those of the experiment. In fact, the underestimation tends to increase in beams having fibers due to the error introduced to the calculation by the constant stress model used in the tension region instead of relating the tensile stress with crack width. Moreover, it was noted that as the tensile reinforcement ratio increases, the introduced error tended to decrease since the contribution of steel fibers becomes less effective. This observation is consistent with the findings of Saatci and Batarlar (2017). Large-scale, doubly reinforced SFRC beams having an a/d ratio of 4.6 was experimentally investigated by Saatci and Batarlar (2017). Two different tensile reinforcement ratios leading to either flexural or shear critical behaviors were selected and, in each case, the simplified method remained on the safe side by underestimating the actual ultimate load. On the other hand, the load-carrying capacities could be captured almost precisely from the numerical analysis. The results showed a maximum overestimation of 3% and an underestimation of 2.5% for beams $2\phi 16$ with 0.76% SF and $4\phi 16$ w/o fibers, respectively.

Next, the flexural stiffness before yielding of beams was conventionally computed as the slope of the load-deflection curve (P/Δ) and the results are tabularized in Table 2. It can be deduced from the table that the analytical analysis always exhibited the highest post-crack flexural stiffness. The reason for high flexural stiffness can be attributed to observed crack distribution over the specimen surfaces. In the experimental study widely distributed cracks, which are resulting in a softening in the flexural stiffness, were reported. However, the current analytical model does not consider crack width and distribution. Additionally, assumes the maximum curvature always occurring in the maximum moment region located at the mid-span. On the other hand, numerical analysis performed better in representing the post-crack flexural stiffness. Moreover, either increasing the tensile reinforcement ratio or inclusion of fiber additive increased the accuracy. An identical outcome was reported by Zhang (2020) and thus further optimization was recommended for stiffness formulation of VT2 specifically for high strength fiber reinforced concrete members having low conventional reinforcement ratio.

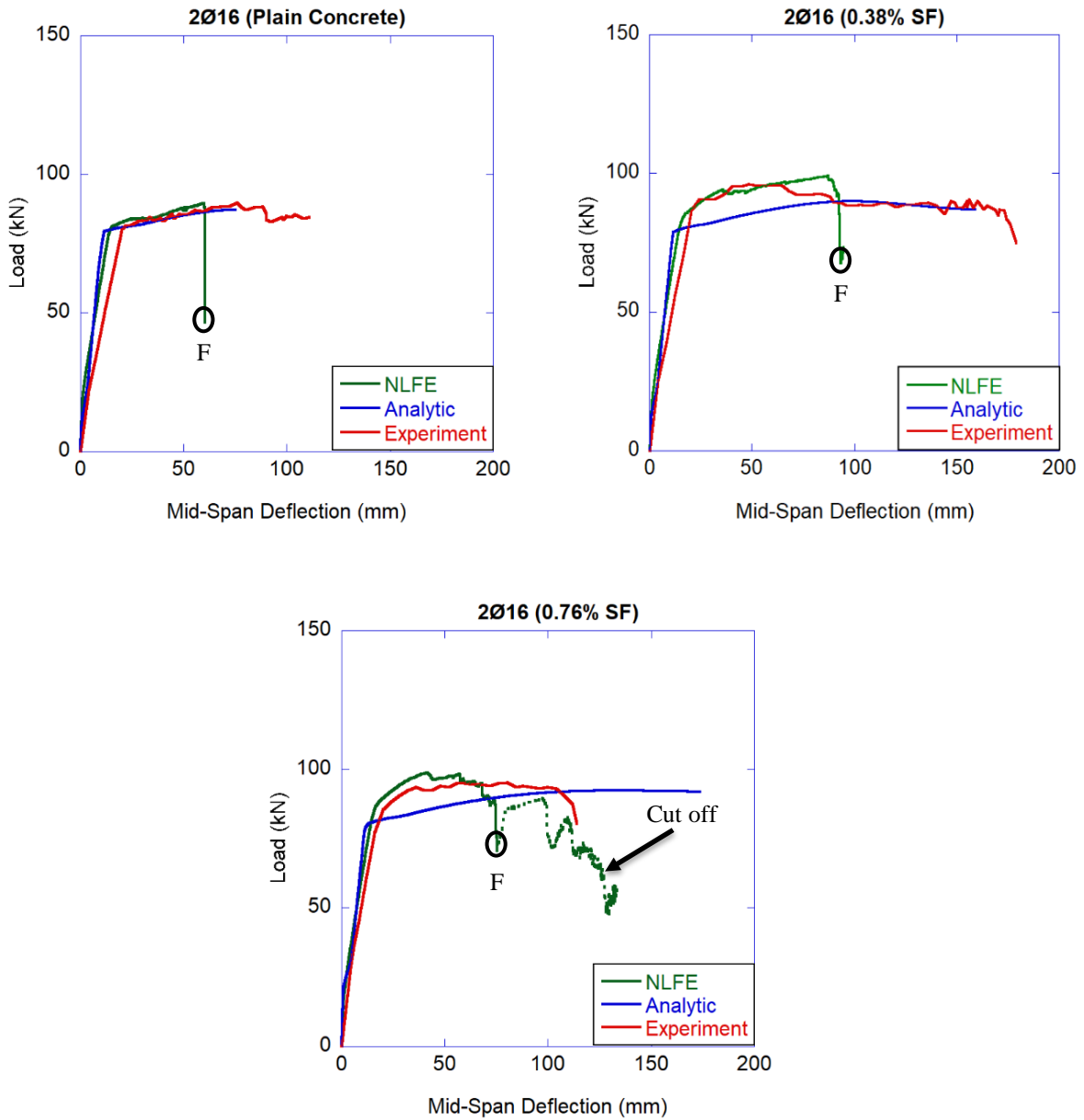


Figure 5. Load-mid span deflection curves of 2φ16 beam series

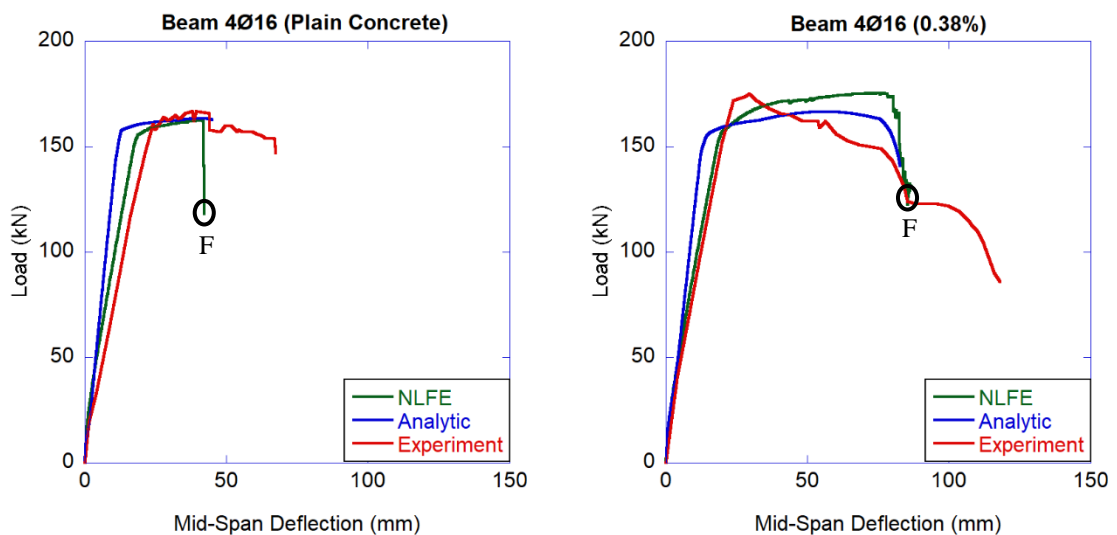


Figure 6. Load-mid span deflection curves of 4φ16 beam series

Table 2. The Flexural stiffness of beam specimens

Specimen	Flexural Stiffness - k (kN/mm)			Ratio (Analytic/Experiment)	Ratio (Numeric/Experiment)
	Experimental	Analytical	Numerical		
2φ16 -PC	3.70	7.80	4.60	2.10	1.24
2φ16 -30	3.80	7.42	4.55	1.95	1.20
2φ16 -60	4.05	7.35	4.65	1.80	1.15
4φ16 -PC	7.25	13.40	7.70	1.85	1.06
4φ16 -30	7.25	12.15	7.42	1.67	1.02

5.2 Cracking Pattern and Failure Mode

Clarification of ultimate (failure) deflection is important in determining appropriate crack patterns in numerical analysis. According to Shin et. al. (1989) and Hadi and Elbasha (2007), the ultimate deflection is defined as the displacement corresponding to 80% of the peak load in the descending portion of the load-deflection curve. In addition, Yoo and Yoon (2015) described the failure displacement by an abrupt decrease in load-carrying capacity due to either rebar rupture or crushing of the outermost concrete layer.

When the predicted load-displacement curves were investigated, at least 30% strength loss was detected for all beams depending on the concrete crush and was represented by point "F". This point was regarded as the failure deflection since it fits well with the three definitions proposed in the literature. Here it should be noted that the numerical analyses were terminated beyond the failure point "F", which subsequently resulted in an underestimation of total deflection capacity compared to that of the experiment. An example of this cut-off is illustrated by the 2φ16 beam having 0.76% SF. After clarification of failure displacements, the crack patterns could be captured and shown by red color in Figure 7. According to most of the design codes, such as TS500 (2000) and ACI 224R-01 (2001), the cracks should not exceed 0.3 mm in width. Therefore, the bold lines indicated the severe cracks which have a thickness greater than 0.3 mm in the estimated patterns. As can be seen from Figure 7, major flexural cracks and severe concrete crushing were observed at the constant moment regions of all beams. Additionally, hairline thick (<0.3 mm) flexural-shear cracks distributed along the length of the beams. Despite a general agreement in the detected crack profiles of the experiment and numerical analysis, in the two beams of 2φ16 with SF, mode of the failure could not be captured by numerical analysis as rebar rupture. Instead of this, all the beams were estimated to fail from concrete crushing at the outermost layer.

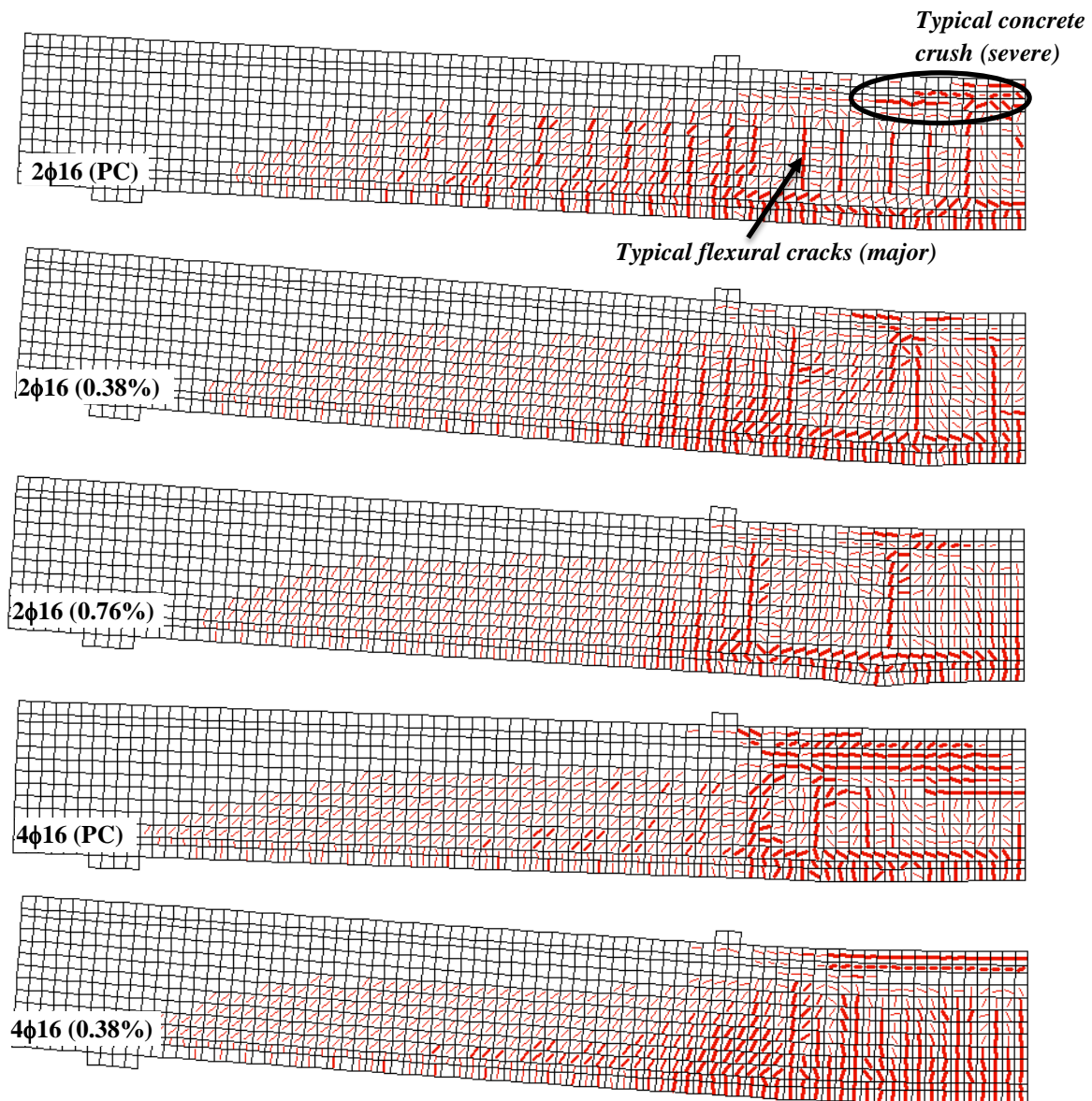


Figure 7. The estimated crack patterns by FEM corresponding to failure deflection

6. Conclusion

The performance of numeric and analytic techniques on the pure bending behavior of large-scale and doubly reinforced RC beams with the tensile reinforcement and fiber ratios as variable parameters was investigated by introducing two different methods of residual strength of the fibrous concrete.

The following conclusions can be inferred from the above discussions.

- The MCTF-based NLFE method was previously found to be successful in representing the response of various types of non-fibrous reinforced concrete test specimens as well as real-life structures (Palermo and Vecchio, 2004; Vecchio, 2002). The current study revealed that introducing the fiber contribution to the tensile strength through VEM in the MCTF-based NLFE is also superior in estimating the fibrous member response (as the load-bearing capacity, crack pattern, and the overall trend of the load-deflection curve until a defined failure point) under static loading. In addition, the flexural stiffness could be captured satisfactorily in densely reinforced beams while a slight overestimation reaching up to 25% was estimated for lightly reinforced beams.
- Simplified analytical method always stayed on the safe side by slightly underestimating (a maximum of 6.20%) the load-bearing capacity in flexure critical SFRC beams. Here it is worthwhile to mention that the error tended to increase in lightly reinforced beams having relatively high fractions of fibers. These observations coincide well with Saatci and Batarlar (2017). As a result, analyzing the flexure critical SFRC beams was found to be efficient in capturing the load-carrying capacity. However, further

extension of the study to the SFRC beams subjected to various types of loading and boundary conditions might be beneficial to understand the functionality of the method. Finally, it should be noted that this method will not yield to reliable estimation of flexural stiffness since the crack profile of the members is not taken into consideration.

Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the author.

References

- American Concrete Institute (ACI) 224R-01, 2001. Control of Cracking in Concrete Structures.
- Amin A, Foster SJ., 2016. Shear strength of steel fibre reinforced concrete beams with stirrups. *Engineering Structures*, 111, 323-332.
- American Concrete Institute (ACI) 544.4R-18, 2018. Guide to Design with Fiber-Reinforced Concrete. Michigan, USA.
- Arslan G, Keskin RSO, Ulusoy S., 2017. An experimental study on the shear strength of SFRC beams without stirrups". *Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, 55(4), 1205-1217
- American Concrete Institute (ACI 544.4R-88), 1988. Design considerations for steel fiber reinforced concrete. Michigan, USA.
- Campione G., 2008. Simplified flexural response of steel fiber-reinforced concrete beams. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 20(4), 283-293.
- Collins MP., Mitchell D., 1997. Prestressed concrete structures. Toronto, Canada, Response Publications,
- Comité Euro International du Béton (CEB/FIP), 1987. Model Code for Concrete Structures, CEB-FIP International Recommendations, Third Edition, Paris, France, 348 pp.
- Elsaigh WA, Kearsley EP, Robberts JM., 2011. Modeling the behavior of steel-fiber reinforced concrete ground slabs II: Development of slab model. *Journal of Transportation Engineering*, 137(12), 889-896.
- EN 1992-1-1:2004, 2004. Eurocode 2: Design of Concrete Structures – Part 1-1: General Rules and Rules for Buildings, 226 pp.
- Hameed R, Sellier A, Turatsinze A, Duprat F., 2013. Flexural behavior of reinforced fibrous concrete beams: experiments and analytical modelling. *Pakistan Journal of Engineering and Applied Sciences*, 13, 19-28.
- Hadi MN., Elbasha N., 2007. Effects of tensile reinforcement ratio and compressive strength on the behavior of over-reinforced helically confined HSC beams. *Construction and Building Materials*, 21(2):269-76.
- Hognested E., 1951. Study of combined bending and axial load in reinforced concrete members. Urbana: University of Illinois Engineering Experiment Station, Bulletin series no. 399.
- Lantsoght EOL., 2018. How do steel fibers improve the shear capacity of reinforced concrete beams without stirrups?. *Composites Part B: Engineering*, 175.
- Leutbecher T, Fehling E., 2008. Crack width control for combined reinforcement of rebars and fibers exemplified by ultra-high-performance concrete. *Fib Task Group 8.6 Ultra High-Performance Fibre Reinforced Concrete (UHPFRC)*, 1-28.
- Lee SC, Cho JY, Vecchio J., 2013. Simplified diverse embedment model for steel fiber-reinforced concrete elements in tension. *ACI Materials Journal*, 110(4), 403-412.
- Lee SC, Cho JY, Vecchio FJ., 2016. Analysis of steel fiber-reinforced concrete elements subjected to shear. *ACI Structural Journal*, 113(2), 275-285.
- Lee SC, Oh JH, Cho JY., 2015. Compressive Behavior of Fiber-Reinforced Concrete with End-Hooked Steel Fibers. *Materials*, 8, 1442-1458.
- Mahmood SMF, Agarwal A, Foster SJ, Valipour H., 2018. Flexural performance of steel fibre reinforced concrete beams designed for moment redistribution. *Engineering Structures*, 177, 695-706.
- MATLAB. Programming Software. The MathWorks Inc.
- Marti P, Pfy T, Sigrist V, Ulaga T., 1999. Harmonized test procedures for steel fiber reinforced concrete. *Materials Journal*, 96(6), 676-685.
- Meda A., Plizzari G, 2004. New design approach for steel fiber-reinforced concrete slabs-on-ground based on fracture mechanics. *ACI Structural Journal*, 101(3), 298-303..
- Meda A, Minelli F, Plizzari GA., 2012. Flexural behavior of RC beams in fibre reinforced concrete. *Composites Part B: Engineering*, 43, 2930-2937.
- Naaman AE., 2003. Strain hardening and deflection hardening fiber reinforced cement composites. Fourth International Workshop on High Performance Fiber Reinforced Cement Composites, Ann Arbor-USA, 95-113.
- Palermo, D., Vecchio, F. J., 2004. Compression Field Modeling of Reinforced Concrete Subjected to Reversed Loading: Verification. *ACI Structural Journal*, 101(2).
- Plizzari GA, Tiberti G., 2006. Steel fibers as reinforcement for precast tunnel segments. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 21(3-4), 438-439.
- Saatci S, Batarlar B., 2017. Çelik fiber katkılı etriyesiz betonarme kirişlerin davranışı. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 32(4), 1143-1154.
- Shin SW, Ghosh SK, Moreno J., 1989. Flexural ductility of ultra-high-strength concrete members. *ACI Structural Journal*, 86(4):394-400.
- Susetyo J, Gauvreau P, Vecchio FJ., 2013. Steel fiber-reinforced concrete panels in shear: analysis and modeling. *ACI Structural Journal*, 110(2), 285-295.
- Turkish Standard (TS 500), 2000. Requirements for design and construction of reinforced concrete structures. Ankara, Türkiye.
- Valle M, Buyukozturk O., 1993. Behaviour of fiber reinforced high-strength concrete under direct shear. *Materials Journal*, 90(2), 122-133.

- Vecchio FJ., Palermo D., 2000. NLFEARC: look Both Ways Before Crossing. ACI Fall 2000 Convention.
- Vecchio FJ., Collins MP., 1986. The Modified Compression Field Theory for reinforced concrete elements subjected to shear. ACI Journal, 83(2), 219-231.
- Vecchio FJ., 2000. Analysis of shear-critical reinforced concrete beams. ACI Structural Journal, 97(1), 102-110.
- Vecchio, F. J., Wong, P., S., 2002. VecTor2 & FormWorks User's Manual
- Vecchio, F. J., 2002. Contribution of Nonlinear Finite-Element Analysis to Evaluation of Two Structural Concrete Failures, Journal of Performance of Constructed Facilities, 16, 110-115.
- Voo JYL, Foster SJ., 2003. Variable engagement model for fibre reinforced concrete in tension. School of civil and environmental Engineering, The University of New South Wales, Sydney, Australia, UNICIV Report, NO. R-420.
- Xu C, Cao PZ, Wu K, Lin SQ, Yang DG., 2019. Experimental investigation of the behavior composite steel-concrete composite beams containing different amounts of steel fibres and conventional reinforcement. Construction and Building Materials, 202, 23-36.
- Yaylaci, M., 2016. The investigation crack problem through numerical analysis. Structural Engineering and Mechanics, 57(6), 1143-1156.
- Yaylaci, M., 2022. Simulate of edge and an internal crack problem and estimation of stress intensity factor through finite element method. Advances in Nano Research , 12(4), 405-414.
- Yoo DY., Yoon YS., 2015. Structural performance of ultra-high-performance concrete beams with different steel fibers. Engineering Structures, 102:409-23.
- Zhang, Z., 2020. Finite Element Modelling of Ultra-High Performance Fibre Reinforced Concrete. MSc. Thesis, Graduate Department of Civil Engineering, University of Toronto.



ANN BASED EARLY DETECTION OF ALZHEIMER DISEASE ON SELECTED FEATURES

Seyit Gazi YILDIZ¹, Kazım YILDIZ^{2*}

¹Marmara University, Institute of Pure and Applied Sciences, Computer Engineering, Istanbul, Turkey

²Marmara University, Faculty of Technology, Department of Computer Engineering, Istanbul, Turkey

Keywords

*Alzheimer Disease,
ANN,
Artificial Neural Networks,
Machine Learning,
Mild Cognitive Impairment.*

Abstract

Alzheimer's Disease (AD) is a type of dementia, also called cognitive impairment. In cases where measures are not taken against the disease, it may result in a decrease in the quality of life of the person and result in very serious consequences. While it presents with neurological consequences such as decreased functions of thinking and memory, it may result in death in advanced cases. The fact that the treatment is not completely possible makes the place of early diagnosis and intervention important for AD. As a result of the researches carried out in the study, it was seen that there are many studies and scientific content within the framework of AD. A method for early diagnosis of the disease was evaluated by using an open source shared dataset, which includes some disease-specific values and demographic characteristics. By using Artificial Neural Networks (ANN) model, which is one of the machine learning methods, it is aimed to be useful for other studies to take precautions for early detection of the disease. With the ANN, which was classified as dementia and non-dementia individuals, Root Mean Square Error (RMSE) value 0.2302, Mean Absolute Error (MAE) value 0.1899 and accuracy rate of 98.5% was obtained.

SEÇİLMİŞ ÖZELLİKLER ÜZERİNDEN ALZHEİMER HASTALIĞININ YSA TABANLI ERKEN TEŞHİSİ

Anahtar Kelimeler

*Alzheimer Hastalığı,
YSA,
Yapay Sinir Ağları,
Makine Öğrenmesi,
Hafif Bilişsel Bozukluk.*

Öz

Alzheimer Hastalığı(AH), bilişsel bozukluk olarak da adlandırılan bir tür demans hastalığıdır. Hastalığa karşı önlem alınmadığı durumlarda kişinin yaşam kalitesinde düşüslere sebep olurken çok ciddi sonuçlarla neticelenebilir. Hastalıkla birlikte kişide düşünme ve hafıza yetisini kullanma fonksiyonlarında azalma görülebilir. Nörolojik sonuçlarla karşımıza çıkabileceği gibi, ileri durumlarda ölümle sonuçlanabilir. Tedavinin tam anlamıyla mümkün olmaması, AH için erken teşhis ve müdahalenin yerini önemli kılıyor. Çalışmada yapılan araştırmalar sonucunda, AH çerçevesinde birçok çalışma ve bilimsel içeriğin olduğu görülmüştür. Hastalığa özgü bazı değerlerin ve demografik özelliklerin yer aldığı açık kaynak olarak paylaşılmış veri seti kullanılarak, hastalığın erken teşhisine yönelik bir yöntem değerlendirilmiştir. Makine öğrenmesi yöntemlerinden Yapay Sinir Ağları (YSA) modeli kullanılarak, hastalığın erken tespiti yönünde önlemlerin zamanında alınmasına yönelik yapılacak diğer çalışmalara yararlı olması hedeflenmiştir. Demans ve demans olmayan birey şeklinde sınıflandırması yapılan Kök Ortalama Kare Hatası (KOKH) değeri 0.2302, Ortalama Mutlak Hata (OMH) değeri 0.1899 ve %98.5 doğruluk oranı elde edilmiştir.

Alıntı / Cite

YILDIZ, S.G. ve YILDIZ K., (2023), Ann Based Early Detection of Alzheimer Disease on Selected Features, Journal of Engineering Sciences and Design, 11(4), 1508-1516.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

S. G. Yıldız, 0000-0002-2708-2486
K. Yıldız, 0000-0001-6999-1410

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	14.05.2023
Revizyon Tarihi / Revision Date	06.09.2023
Kabul Tarihi / Accepted Date	02.11.2023
Yayın Tarihi / Published Date	30.12.2023

* İlgili yazar / Corresponding author: seyityildiz@marun.edu.tr, +90-216-577-84-00

ANN BASED EARLY DETECTION OF ALZHEIMER DISEASE ON SELECTED ALZHEIMER FEATURES

Seyit Gazi YILDIZ¹, Kazım YILDIZ^{2†}

¹Marmara University, Institute of Pure and Applied Sciences, Computer Engineering, Istanbul, Turkey

²Marmara University, Faculty of Technology, Department of Computer Engineering, Istanbul, Turkey

Highlights

- This study aims to classify Alzheimer's patients and healthy individuals with using selected features
 - The dataset contains 9 different features.
 - The results of the study were obtained using the ANN algorithm.
 - The system evaluated the accuracy rate as a result of the test data as an average of 98.5%, the RMSE value as 0.2302 and the MAE value as 0.1899.
-

Purpose and Scope

The aim of this study is to contribute to other literature studies for the early diagnosis of the disease by using the ANN algorithm with the dataset of selected features seen in Alzheimer's disease. Considering that the disease is difficult to detect and results in death outcomes at advanced levels, it is predicted that early detection of the disease will be a useful evaluation.

Design/methodology/approach

A total of 334 rows of data were used in the system designed by choosing the ANN model, one of the machine learning methodologies, within the scope of the study, together with the literature review. By accepting the approach of the importance of early diagnosis in the disease, the system was trained with a data set that includes demographic structure and some disease characteristics specific to Alzheimer's disease. 80% of the dataset was used for training and 20% for testing. The Cross Entropy Loss function is used to optimize the neural network to keep the loss at low levels before training the system. Torch seed value was determined as 20 and the system was trained in 20 repetitions. The output of whether the person is disease or healthy is obtained.

Findings

Within the study, the system has a structure that classifies people as disease or healthy. Train Accuracy value was determined as 99.63%. In addition, as a result of training the system with test data, Nondemented has successfully completed the classification step with 97.62% and Demented 100.00% accuracy rates. The system's margin of error decreased. It is therefore considered succesful. In addition, the loss value remained constant after a certain point. It is thought that more accurate outputs can be obtained by classifying the system in different options using more data. As a result, an average of 98.5% accuracy rate, RMSE value 0.2302 and MAE value 0.1899 was achieved in the system where the ANN model was applied.

Originality

Includes classification for Alzheimer's patients. As a result of the study, the accuracy rate was determined and compared with the results obtained in similar studies. The fact that it is a study in the direction of early detection of Alzheimer's disease in the study, which includes disease-specific features, expresses its original value.

[†] Corresponding author: seyityildiz@marun.edu.tr, +90-216-577-84-00

1. Introduction

Alzheimer is a neurological disease which is a type of dementia disease that causes the destruction of brain cells. It is common today, can be more noticeable in older ages. If no action is taken for Alzheimer, it can progress quickly. Additionally it affects the quality of life, it brings many negative consequences. Alzheimer is a death disease that can cause a decrease in functions such as memory, thinking and behavior. It may occur step by step with the advancing age, and it may take until later ages to reach advanced stages. In this regard, it has become important to predict this disease, for which early diagnosis is very important, with machine learning. AD is one of the types of dementia, also known as Mild Cognitive Impairment (MCI), which is a disease that is difficult to detect and results in fatal outcomes and is assessed as a result of test results (Sertkaya and Ergen, 2022). MCI is known as a transitional phase between age-related cognitive changes and AD (Evyapan Akkuş and Güler, 2016). While one of the factors that increase the risk of the disease is considered to be vitamin deficiency, AD can be seen in individuals with vitamin B12 deficiency or it negatively affects the disease process (Delikanlı Akbay, 2019). Early diagnosis and accuracy have an important place in eliminating the symptoms of the diseased person. Also, Proximal Support Vector Machine (PSVM), K Nearest Neighbour (KNN) and Multilayer ANN methods were found useful in terms of comparing different classification methods, and it was said that the visuals in phase stages were successful in assessing the significance (Tufail et al., 2012). It has been mentioned that a person with dementia, which is evaluated as a syndrome associated with memory loss with a different definition, will have difficulties in performing daily activities, behavior, thinking and memory skills. Multiple classification methodologies were used in this study for the diagnosis of AD and Parkinson's disease (PD). Images scanned by Positron Emission Tomography (PET) were used. In the study, in which SVM, DT and Naive Bayes classification methods were also used, ANN was evaluated as a method that gives a better accuracy rate than other tools with 93.14% (Nancy Noella and Priyadarshini, 2020). Dementia becomes the main factor of Alzheimer's disease by killing the synapses in the following years. It makes people unable to think, read and use many different abilities. A study was carried out using the dataset of the Open Access Series Of Imaging Studies (OASIS), the main aim of which was to identify dementia in various people. The results of the system were discussed by using Support Vector Machine (SVM) and Random Forest (RF) for estimation. As a result, it was found that SVM outperformed other modules and this method was proposed for rapid detection of dementia (Salunkhe and Chavan, 2022). It is difficult to detect, together with symptoms that will prevent recovery to normal health, and the lack of a definitive treatment method shows that the disease is serious. In this context, by emphasizing the widespread use of Magnetic Resonance Imaging (MRI) technology was highlighted and the studies using this technique were examined (Özkaya and Cebeci, 2022). Another study on MRI, although focusing on MRI, evaluated studies that included cerebrospinal fluid biomarkers and positron emission tomography in addition to this method were evaluated (Falahati et al., 2014). A Long Short-Term Memory (LSTM) based model has been proposed for AD, which is considered to be one of the diseases that may arise from cell or intermolecular communication (Işık, 2022). Emphasizing that it is a chronic disease, it is not possible to completely treat the disease, and SVM, ANN, Deep Learning (DL) from machine learning methods were analyzed to evaluate the more effective method for diagnosing the disease (Mahajan et al., 2020). In the study, which compares the collective feature selection approaches with the aim of creating a model that predicts the disease, the Normal (CN), MCI and AD dataset, which consists of three main classes, was used. Using the inhomogeneous ensemble feature selection approach together with data mining algorithms, it was the RF method with a higher performance of 91% (Buyrukoğlu, 2021). There are many imaging techniques used to diagnose the disease. In a study made with MRI technique, a total of 6400 MR images were used together with AlexNet, MobileNetV2 architectures and Convolutional Neural Networks (CNN) model for the diagnosis of the disease. Feature selections were made with the Neighborhood Component Analysis (NCA) algorithm, and the model was completed by classifying with SVM. 100% accuracy rate was obtained in the model (Karabay and Çavaş, 2022). In another study using brain cortical and genetic characteristics in classifying the disease, the best results were obtained with Decision Trees (DT) and SVM methods (Yuan et al., 2022). It has been mentioned that ANN, which is emphasized to have a good capacity in terms of classification, is a good method that can be used in studies (Quintana et al., 2012). In another study, which includes some similar features in the dataset to be used in our study, successful results were obtained in SVM. As a result of the study, is thought that it can help people get early treatment for AD (Neelaveni and Devasana, 2020). In the study of Kour et al. (2019) which was conducted with a dataset containing similar AD features, and where accuracy, F-score and RMSE measurements were evaluated, it was observed that Adaptive Neurofuzzy Inference System (ANFIS) was trained for 100 terms and ANN was trained

for 1000 terms, and ANFIS measurements were higher than ANN. Developing a new AD diagnostic model with a different approach than existing studies, Sun et al. (2022) obtained the area under the curve (AUC) value of 0.953 and accuracy value of 0.914 by using the ANN model with the data they accessed from the Gene Expression Omnibus (GEO) database. Again with a different approach, in the study of Aljović et al. (2016), it was stated that an accurate classification was made by using biomarkers in the cerebrospinal fluid together with the ANN methodology, with an accuracy of 95.5% with demented test data and 91.43% with nondemented test data. In the study, the material and method are explained in the second part. The methods used and the dataset are presented with their properties. In addition, the architecture for classification, which describes the working logic of the system, is also included. In the third and last part, the results are shared and comparative analyzes are given.

2. Material and Method

This section provides information on the dataset and methodology which is used in the study.

2.1. Dataset

Within the scope of the study, the Dinçer (2018) dataset containing the characteristics of the disease was used in the context of AD, which is widely used in disease detection. The dataset was created open to three different types of classification: Nondemented, Demented and Converted. As we wanted to get a binary output as a result of our study, only the nondemented and demented samples were taken. In addition, when creating the W weight parameter, the learning will not be fully realized as the same result will be obtained for the layers when the input parameters are 0 (Kızrak, 2018). Therefore, adjustments were made in cases where the disease features in the dataset were marked as 0. The changes were made manually on excel. First, the dataset to be used in the estimation method was prepared. The rows with the corresponding 0 or non-correlated values of the field have been changed to 0.000001 in the dataset. Rows with Converted classification have been deleted so that binary classification can be made. A total of 336 rows were obtained and the dataset was made ready. The characteristics of the disease used in the dataset are given in Table 1 along with their abbreviations.

Table 1. Alzheimer features dataset explanations (Dinçer, 2018)

Abbreviations	Alzheimer Features
Gender	Gender
Age	Age
EDUC	Years of Education
SES	Socioeconomic Status
MMSE	Mini Mental State Examination
CDR	Clinical Dementia Rating
eTIV	Estimated total intracranial volume
nWBV	Normalize Whole Brain Volume
ASF	Atlas Scaling Factor
Class	Label of class

2.2. Artificial Neural Networks (ANN)

For the purposes of early detection of the disease, artificial neural network was utilized in this study. ANN is a self-organized machine learning method that can learn and evaluate. This method, which can be trained and adapted, works by modeling the learning structure similar to the human brain. In this way, it is aimed to train machines with the ANN method, as in humans, to make their own decisions. An example of the perceptron, which is the smallest part of the artificial neural network shown in Figure 1, is given. The smallest part of artificial neural networks is called perceptron. Figure 1 is visualized again based on the model with the perceptron sample used in (Kızrak, 2018).

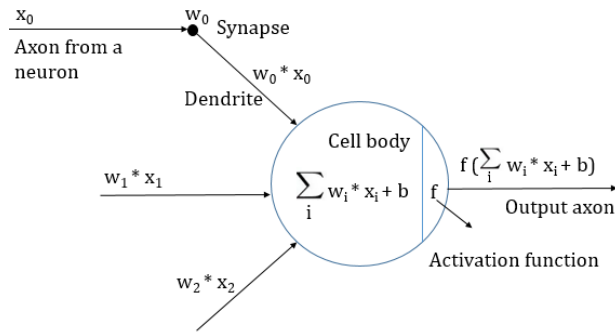
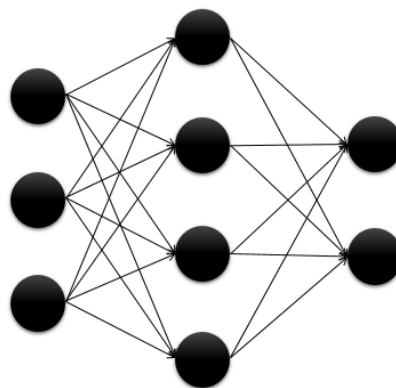


Figure 1. Perceptron Example (Kızrak, 2018)

While the Perceptron is expressed with a linear function as in equation 1, Frank Rosenblatt first defined this function in 1957. y represents the score of the input. It is a dependent variable because it depends on the value of x . x is input and argument. W refers to the weight parameter and b bias value (Kızrak, 2018).

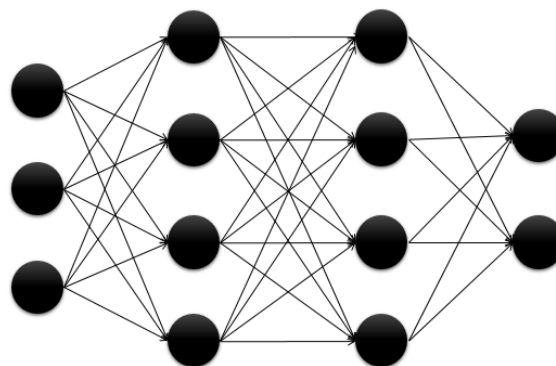
$$y = (W * x) + b \tag{1}$$

In the ANN model, the goal is to calculate the W and b values that will give the best score in the model. ANN model; It consists of 3 layers: Input, Hidden and Output Layer. These layers are given in Figure 2 and Figure 3 which were visualized again based on the model in which the layers of the ANN algorithm used in Kızrak (2018) were shown. Each round in Figure 2 and Figure 3 represents neurons.



Input layer Hidden layer Output layer

Figure 2. Example of Single Layer ANN Layers (Kızrak, 2018)



Input layer Hidden layer Hidden layer Output layer

Figure 3. Example of Multi-Layer ANN Layers (Kızrak, 2018)

While finding the total weight, each layer is multiplied by the next and these multiplied values are added together. The bias value is obtained by summing each input/output value on the hidden and output layers. In the single-layer ANN model described in Figure 2, there are a total of 6 neurons apart from the input layer. The total weight is calculated as $(3*4)+(4*2)=20$. The bias value is obtained as $4+2 = 6$ with the hidden and output layer. Widrow and Hoff were the first to work on the multilayer ANN model in 1960. In the multi-layer ANN model described in Figure 3, there are a total of 10 neurons apart from the input layer. The total weight value is obtained as $(3*4) +$

$(4*4) + (4*2) = 36$. The bias value is obtained as $4+4+2 = 10$. In addition, the multilayer ANN model has two hidden layers. In the multiple ANN model in Figure 3, there are 46 parameters to be learned, $36 + 10 = 46$ in total (Kızrak, 2018).

Layers and neurons in layers have an indirect effect on the model. The neurons within the layer are not related to each other. The system works by transferring the information from the previous layer trained to the next layer. The neurons in the two sequential layers affect each other with their own values and perform a transfer in determining the learning level of the model. The number of neurons in a layer is one of the factors affecting the performance of the system. The influence of many different parameters affects the performance at the output. In cases where the input value (x value) is '0', $W * x = 0$ and + b value offsets the output of the score function. This allows the model to continue the learning process in the next step. W weight vector should be the number of neurons, and b values should be the number of neurons in the next layer (Kızrak, 2018).

In the studies, RMSE and MAE metrics are used to evaluate the performance of the models that occur regularly (Chai and Draxler, 2014). After the system was trained, equation 2 for RMSE and equation 3 for MSE were applied based on the formulas used in their studies (Chai and Draxler, 2014; Acharya 2021).

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - y')^2} \quad (2)$$

$$\text{MAE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - y'| \quad (3)$$

Errors represent the differences between the estimated values and the actual values. Among the expressions in the formulas, y_i refers to the actual value, y' refers to the prediction value and n refers to the number of observations (Acharya, 2021). Inspired by the example in Köseoğlu (2021) 's review of model performance, metrics were obtained according to these formulas at the end of the study.

2.3. Architectural Structure in Classification

The architectural structure of the application, which was prepared using the dataset described in 2.1 and the method specified in 2.2, works as indicated in Figure 4. After the system has been trained, the structure that decides whether the person is disease or not is visualized by allowing it to predict. Inspired by the visual in Figure 3 prepared within the scope of the study prepared by Klumpp et al. (2018), the diagram was redrawn and expressed according to the flow mechanism in this study. The system made in this study was inspired by the model applied within the scope of the study by Gerontogianni (2022). The system was completed using python language on Pycharm ide. It was run on the Windows operating system. The system was trained with the ANN model using some Alzheimer's disease-specific disease characteristics together with the demographic structure. The torch library was used to create the ANN model. 80% of the dataset was used for training and 20% for testing. The sklearn library was used for training, preparing test data and analyzing results. The sklearn library was also used in the calculation of RMSE and MAE values. The Cross Entropy Loss function is used to optimize a deep neural network by minimizing loss before training the system. Torch seed value is set to 20. The system was trained in 20 repetitions. Depending on the result of training the system, the loss function graph in Figure 5 is output with the help of the matplotlib library. When the test data is run in the trained system, two outputs meet us according to the classification logic shown at the end of the architectural structure. As the output, it predicts whether the person has AD or not.

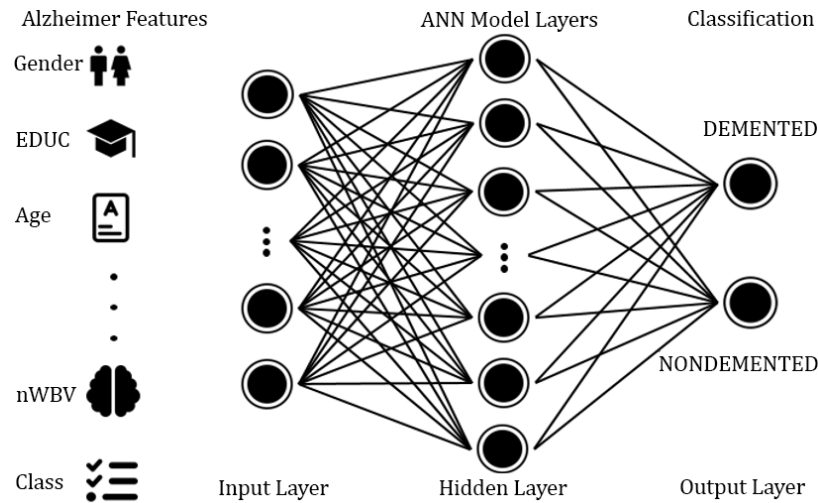


Figure 4. Data Flow Diagram in Classification Model (Klumpp et al., 2018)

3. Results

In order to contribute to universal studies, it is predicted that it will be a useful evaluation in the early detection of the disease, taking into account the advantages of preventing the progression of the disease in the early diagnosis of this disease, which can result in fatal results, and the high cost and difficult to detect factors. As a result of the early diagnosis of the disease within the scope of the research, it is aimed to record a certain stage by detecting the disease before it moves to advanced stages. As a result of each repetition, the loss and train accuracy values are shown in the graph in Figure 5. While the Loss value was 1.16923773 and 1.16919613 in the first 2 iterations, it gave the output of 1.16915369 with the third iteration. It was observed that this result did not change in each training repetition. The decrease in the margin of error can be interpreted as a successful behavior of the system. However, if it remains constant after a certain point, the fact that the diversity in the data is low and the system has a binary classification can be interpreted as a negative effect in this sense. This is thought to affect the repetition of the result after a certain point. The graphic output showing the loss function values according to the turnover period is shown in Figure 5. It is seen that the test and training loss values are close to each other. Additionally, the Train Accuracy value was 99.63%. The system successfully completed the test veri by classifying nondemented 97.62% and demented 100.00% accuracy. In the system where the ANN model was applied, the accuracy value obtained as a result of the test data was obtained as 98.5% on average. The accuracy value obtained was slightly below the accuracy value in the study of Kour et al. (2019), where similar parameters in the dataset used in this study were used. Although training 20 epochs were applied in this study, in the study of Kour et al. (2019), model training was completed with the ANN model in the form of 1000 epochs.

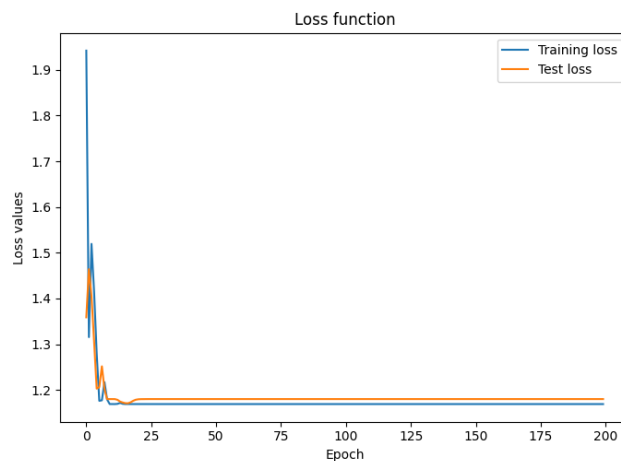


Figure 5. Epoch - Test&Training Loss Function Chart

4. Discussion and Conclusion

As a result of using the dataset used in the study in two categories as training and test data, the system completed the accuracy rate of the prediction data as 98.5%. It has been observed that increasing the Torch seed value decreases the prediction success. When the value of 20 was used, it gave the highest prediction rate. It has been observed that the accuracy rate decreases when 30 and 40 values are used, while the accuracy rate decreases

when 10 and 15 values are used. In the study Karabay and Çavaş, (2022) made with 6400 MR images, a higher value was obtained with the method applied. While 100% accuracy was achieved in the study using the SVM algorithm, the use of MR images and more data in the study can be considered as a factor that increases the reliability of the application. The success rate 92% was achieved in the classification of the disease by using DT and SVM models in the study Yuan et al., (2022), which included different methods together with the dataset containing the brain cortical and genetic characteristics. When the two studies using SVM are compared, considering the data differences, it is seen that the accuracy rates vary in systems with datasets with different characteristics. The high accuracy rate of the ANN algorithm can be considered as a method that can be used in future studies. In the study by Kour et al. (2019), in which similar features were used, the accuracy value 99.4% obtained with the ANN model was higher than this study. For the datasets to be used in the detection of AD, can be expanded by adding different features of the disease in addition to the values used in the study. It can give more reliable and accurate results in a system where other features are combined with MR images. The use of different data types in studies, keeping the data set wider, and achieving high accuracy in addition can be interpreted as factors that will increase the reliability of the system. Comparison of accuracy and RMSE values of some titles similar to the study is given in Table 2. In this context, as a result of the study, high accuracy rates can be obtained for early detection of the disease by using the ANN method.

Table 2. Comparing the accuracy of the studies carried out with the ANN model on different subjects

Contributors	Title of the Study	ANN Accuracy (A) & RMSE Values	Demented (D) & Nondemented (ND) Accuracy
Aljović et al. (2016)	Artificial neural networks in the discrimination of Alzheimer's disease using biomarkers data	A= 93.47% RMSE= 0.1435	D= 95.5% ND= 91.43%
Nancy Noella and Priyadarshini (2020)	Diagnosis Of Alzheimer's And Parkinson's Disease Using Artificial Neural Network	A= 93.14%	-
Kour et al. (2019)	Evaluation of Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System with Artificial Neural Network and Fuzzy Logic in Diagnosis of Alzheimer Disease	A= 99.4% RMSE= 0.1435	-
Sun et al. (2022)	Establishment and Analysis of a Combined Diagnostic Model of Alzheimer's Disease With Random Forest and Artificial Neural Network	A= 91.4%	-
In this study	ANN Based Early Detection Of Alzheimer Disease On Selected Alzheimer Features	A= 98.5% RMSE= 0.2302	D= 100.00% ND=97.62%

Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the author.

References

- Acharya, S. 2021. What are RMSE and MAE?. <https://towardsdatascience.com/what-are-rmse-and-mae-e405ce230383> (Access Date: 22.08.2023).
- Aljović, A., Badnjević, A., Gurbeta, L. 2016. Artificial neural networks in the discrimination of Alzheimer's disease using biomarkers data. In 2016 5th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO), 12-16 June, Bar, 286-289.
- Buyrukoğlu, S. 2021. Early Detection of Alzheimer's Disease Using Data Mining: Comparison of Ensemble Feature Selection Approaches. *Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9(1), 50-61.
- Chai, T., Draxler, R. R. 2014. Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)?--Arguments against avoiding RMSE in the literature. *Geoscientific model development*, 7(3), 1247-1250.
- Delikanlı Akbay, G. 2019. Alzheimer Hastalığında B12 Vitamini Eksikliği. *Cumhuriyet Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 4(3), 22-28.
- Diñçer, B. 2018. Alzheimer Features. <https://www.kaggle.com/datasets/brsdincer/alzheimer-features> (Access Date: 01.12.2022).
- Evyapan Akkuş, D., Güler, A. 2016. Ege Agrafi Test Bataryası'nın Hafif Bilişsel Bozukluk ve Alzheimer Hastalığı Olgularındaki Yazma Bozukluklarını Belirlemedeki Yeri. *Türk Psikiyatri Dergisi*, 27(3), 185-194.
- Falahati, F., Westman, E., Simmons, A. 2014. Multivariate data analysis and machine learning in Alzheimer's disease with a focus on structural magnetic resonance imaging. *Journal of Alzheimer's Disease*, 41(3), 685-708.
- Gerontogianni, L. 2022. Dates-Fruit-classification---PyTorch. <https://github.com/Lina-Gerontogianni/Dates-Fruit-classification---PyTorch> (Access Date: 01.12.2022).
- Işık, İ. 2022. Classification of Alzheimer Disease with Molecular Communication Systems using LSTM. *International Journal of Computational and Experimental Science and Engineering*, 8(2), 25-31.
- Karabay, G. S., Çavaş, M. 2022. Derin öğrenme Yöntemiyle Alzheimer Hastalığının Tespiti. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 34(2), 879-887
- Kızrak, A. 2018. Şu Kara Kutuyu Açalım: Yapay Sinir Ağları. <https://ayyucekizrak.medium.com/%C5%9Fu-kara-kutuyu-a%C3%A7alim-yapay-sinir-a%C4%9Flar%C4%B1-7b65c6a5264a> (Access Date: 12.12.2022).
- Klumpp, P., Fritsch, J., Nöth, E. 2018. ANN-based Alzheimer's disease classification from bag of words. In *Speech Communication; 13th ITG-Symposium*, 10-12 October, Oldenburg, 1-4.

- Kour, H., Manhas, J., & Sharma, V. 2019. Evaluation of adaptive neuro-fuzzy inference system with artificial neural network and fuzzy logic in diagnosis of Alzheimer disease. In 2019 6th International conference on computing for sustainable global development (INDIACom), 13-15 March, New Delhi, 1041-1046.
- Köseoğlu, B. 2021. Model Performansını Değerlendirmek: Regresyon. <https://medium.com/yaz%C4%B1%C4%B1m-ve-bili%C5%9Fim-kul%C3%BCb%C3%BC/model-performans%C4%B1n%C4%B1-de%C4%9Ferlendirmek-regresyon-48b4afec8664> (Access Date: 23.08.2023).
- Mahajan, S., Bangar, G., Kulkarni, N. 2020. Machine Learning Algorithms for Classification of Various Stages of Alzheimer's Disease: A Review. *Machine Learning*, 7(08), 817-824.
- Nancy Noella, R. S., Priyadarshini, J. 2020. Diagnosis of Alzheimer's and Parkinson's disease using artificial neural network. *Int J Sci Technol Res*, 9(3), 3659-3664.
- Neelaveni, J., Devasana, M. S. G. 2020. Alzheimer Disease Prediction using Machine Learning Algorithms. In 2020 6th International Conference on Advanced Computing and Communication Systems (ICACCS), 6-7 March, Coimbatore, 101-104.
- Özkaya, A., Cebeci, U. 2022. A Model Suggestion For Alzheimer's Disease Diagnosis By Using Deep Learning. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (37), 123-130.
- Salunkhe, S. Y., Chavan, M. S. 2022. Prediction of Alzheimer's disease using Machine Learning Algorithm. In 2022 Joint International Conference on Digital Arts, Media and Technology with ECTI Northern Section Conference on Electrical, Electronics, Computer and Telecommunications Engineering (ECTI DAMT & NCON), 26-28 January, Chiang Rai, 400-405.
- Sertkaya, M. E., Ergen, B. 2022. Alzheimer Hastalığının Erken Teşhisinin Çoklu Değişken Kullanarak Tespiti. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (35), 306-314.
- Sun, D., Peng, H., & Wu, Z. 2022. Establishment and analysis of a combined diagnostic model of alzheimer's disease with random forest and artificial neural network. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 14, 921906.
- Tufail, A. B., Abidi, A., Siddiqui, A. M., Younis, M. S. 2012. Automatic Classification of Initial Categories of Alzheimer's Disease from Structural MRI Phase Images: A Comparison of PSVM, KNN and ANN Methods. *International Journal of Biomedical and Biological Engineering*, 6(12), 713-717.
- Quintana, M., Guàrdia, J., Sánchez-Benavides, G., Aguilar, M., Molinuevo, J. L., Robles, A., Barquero, M. A., Antúnez, C., Martínez-Parra, C., Frank-García, A., Fernández, M., Blesa, R., Peña-Casanova, J., Neuronorma Study Team 2012. Using artificial neural networks in clinical neuropsychology: High performance in mild cognitive impairment and Alzheimer's disease. *Journal of clinical and experimental neuropsychology*, 34(2), 195-208.
- Yuan, Z., Yao, X., Bu, X. 2022. Classification of Alzheimer's Disease Using Conventional Machine Learning Methods with Cortical and Genetic Characteristics. In 2022 IEEE 2nd International Conference on Power, Electronics and Computer Applications (ICPECA), 21-23 January, Shenyang, 303-306.



AÇIK UÇLU ÇOKLU GEZGİN SATICI PROBLEMİ VE BİR ÇÖZÜM ÖNERİSİ

Zühal KARTAL^{1*}

¹Eskişehir Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Açık Uçlu Gezgin Satıcı
Problemi,
Makine Öğrenmesi,
K-Medoids Algoritması,
En Yakın Komşuluk Araması
Algoritması.

Öz

Çoklu gezgin satıcı problemi, bir tura tek bir depodan başlayan ve turu depoda bitiren m adet satıcı için her bir şehrin yalnızca bir kez ziyaret edilmesi kısıtı altında, oluşan m adet turun toplam maliyetini minimize etmeyi amaçlar. Açık uçlu çoklu gezgin satıcı probleminde ise, m adet satıcı depoya geri dönme zorunluluğu olmadan, turu en son ziyaret ettikleri şehirde tamamlarlar. Problemin amacı, m adet satıcının oluşturduğu rotaların toplam mesafesinin en küçüklenmesini sağlamaktır. Bu probleme lojistik sektöründe özellikle kargo taşımacılığında rastlanmaktadır. Bu çalışma ile, açık uçlu çoklu gezgin satıcı problemine açık kaynak kodlu yazılımlar kullanılarak bir çözüm önerisinde bulunulmuştur. İlk olarak m adet satıcının gezeceği şehirler denetimsiz makine öğrenmesi algoritmalarından K-Medoids Kümeleme Algoritmasıyla belirlenmiş, ardından En Yakın Komşuluk Algoritması ile rotalar oluşturulmuştur. Önerilen yöntemin başarısı literatürden kümelennmiş, rassal ve hibrid rassal-kümelennmiş olarak sunulmuş özellikler gösteren veri setleri üzerindeki denenerek, performansı Gurobi ticari çözücüsünden alınan optimal çözümlerle karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, önerilen yöntemin kabul edilebilir seviyede başarılı olduğunu ancak, farklı özellikler taşıyan veri setlerinde farklı davranışlar sergilediğini göstermektedir.

OPEN MULTIPLE TRAVELLING SALESMAN PROBLEM AND A SOLUTION PROPOSAL

Keywords

Open Multiple Travelling
Salesman Problem,
Machine Learning,
K-Medoids Algorithm,
Nearest Neighborhood
Algorithm.

Abstract

The multiple traveling salesman problem aims to minimize the total cost of m tours while visiting each city only once from sellers who start a tour from a single depot and finish the tour at the same depot. In the open multiple traveling salesman problem, m sellers complete the tour in the city they last visited without returning to the depot. The aim of the problem is to minimize the total travelled distance formed by m sellers. This problem is encountered in the logistics sector, especially in cargo transportation. In this study, a solution is proposed to solve by using open source softwares. First, the cities to be visited by m sellers are determined by the K-Medoids Clustering Algorithm which is an unsupervised machine learning algorithm, and then the routes are formed with the Nearest Neighborhood Algorithm. The performance of the proposed method was tested on datasets with different clustering characteristics such as clustered, random and a hybrid random-clustered dataset from the literature. Its performance was compared with the optimal solutions taken from the Gurobi commercial solver. The results indicate that the proposed method is reasonably successful; however, it exhibits different behaviors on datasets with distinct characteristics.

Alıntı / Cite

Kartal, Z., (2023). Açık Uçlu Çoklu Gezgin Satıcı Problemi ve Bir Çözüm Önerisi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(4), 1517-1528.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

Zühal Kartal, 0000-0002-0076-7418

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	03.08.2023
Revizyon Tarihi / Revision Date	29.10.2023
Kabul Tarihi / Accepted Date	10.11.2023
Yayın Tarihi / Published Date	30.12.2023

* İlgili yazar / Corresponding author: zkartal@eskisehir.edu.tr, +90-222-213-8244

OPEN MULTIPLE TRAVELLING SALESMAN PROBLEM AND A SOLUTION PROPOSAL

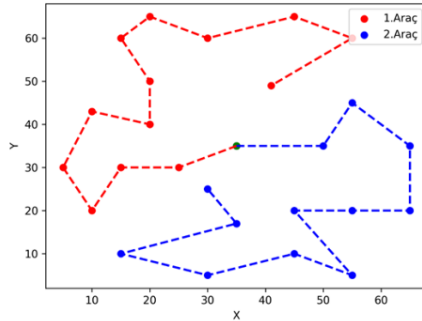
Zühal Kartal[†]

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, Türkiye

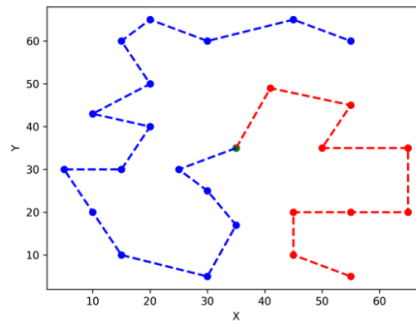
Highlights

- An open multiple travelling salesman problem is studied.
- A mathematical formulation from the literature is modified.
- A hybrid algorithm is proposed which combines a machine learning based clustering algorithm and nearest neighborhood algorithm for the solution.

Graphical Abstract



Şekil a. (Figure.a.) Önerilen Algoritma Sonuçları
(Results of the Proposed Algorithm)



Şekil b. (Figure b.) Gurobi Sonuçları (Results of Gurobi Solver)

Şekil./Figure. R101_25_2 örneğinde Önerilen Algoritma ve Gurobi Çözümlerinin Gösterimi (Results of the Proposed Algorithm and Gurobi Solver on R101_25_2)

Purpose and Scope

The purpose of this paper is to develop a solution algorithm to the Open Multiple Travelling Salesman Problem and to investigate the effect of the algorithm on different data sets from the literature.

Design/methodology/approach

In this study, for the solution of the Open Multiple Travelling Salesman Problem, a hybrid algorithm is proposed which combines K-Medoids algorithm for clustering and Nearest Neighborhood Algorithm for routing.

Findings

The proposed algorithm is able to solve the problems on average of %14.7 gap on clustered datasets, on average of %10.5 gap on random datasets and on average of %8.1 gap on clustered-random data sets in microseconds.

Research limitations/implications

The algorithm can be applied to different multiple travelling salesman or any vehicle routing problem with either single depo tor multiple depot settings.

Practical implications

This study is motivated by a real life cargo company's operations; therefore, we proposed a solution methodology in which we use open source programs; therefore, this approach could be easily adapted by a decision maker in logistics sector.

Social Implications

Applying this proposed algorithm in the real life logistics problems on cargo sector could cause a reduction in CO₂ emissions.

Originality

The proposed algorithm has been applied to an open multiple travelling salesman problem for the first time. Decision makers in logistics sector as well as researchers on logistics problems can get valuable benefits on this study.

[†] Corresponding author: zkartal@eskisehir.edu.tr, +90-222-213-8244

1. Giriş (Introduction)

Teknoloji ve rekabetin gelişmesiyle birlikte lojistik uygulama alanları git gide hayatımızda önemli bir yer teşkil etmektedir. Bir ürünü üretirken maliyetini düşürmenin yollarından biri, nakliye maliyetini en aza indirerek bir yerden bir yere en az maliyetle taşınabilmesidir. Bu nedenle günümüzde araç rotalama probleminin (ARP) günlük hayattaki gerçek uygulamaları, araştırmacıları her geçen gün daha fazla önem vermeye ve farklı açılardan incelemeye yöneltmiştir. Ayrıca, özellikle pandemiden sonra global anlamda artan e-ticaret alışverişlerinin müşteri memnuniyetini sağlayacak şekilde ulaştırılması zorunluluğu lojistik problemlerine çok daha fazla önem verilmesini gerektirmektedir.

Klasik Araç Rotalama probleminde, depodaki bir araç filosu, her bir araca tahsis edilen müşterilerin toplam talebinin sabit kapasiteyi aşmaması ve her müşteriye yalnızca bir müşterinin hizmet vermesi koşuluyla, araçların katettikleri toplam mesafenin en küçüklenmesi hedeflenmektedir. Bu problemde, tüm araçların özellik olarak aynı olduğu varsayımının yanı sıra, araçların müşterilere yalnızca tek bir tür ürün teslim etmesi gerekmektedir. Dağıtım, depolama ve taşıma sistemlerinin önemi arttıkça lojistik sistemlerin tasarım ve optimizasyonu kapsamındaki akademik çalışmalar da çeşitlenerek artmaktadır. Bu nedenle son 50 yılda literatürde çeşitli tipteki ARP'ler ile karşılaşmıştır. Açık uçlu ARP'de (AUARP), araçlar müşteri taleplerini karşıladıktan sonra depoya geri dönmeden turlarını tamamlarlar (Sariklis and Powell, 2000). Literatürde; ziyaret edilen müşterilere hem kargo bırakma hem de alma işlemi Eş Zamanlı Topla/Dağıt ARP (Ropke ve Pisinger, 2006); müşterilere belli bir zaman aralığında dağıtım yapılması gerekliliğinde Zaman Pencereci ARP (Solomon, 1987); eldeki filodaki araçların kapasite olarak birbirinden farklı olması durumunda Heterojen ARP (Gendreau vd., 1999); bir aracın katedeceği mesafe/sürenin bir limiti olması durumunda Mesafe/Süre Kısıtlı ARP (Oropeza vd., 2012) gibi ARP çeşitleri ile karşılaşmıştır. İlgili okuyucular için bir araştırma ve sınıflandırma makalesi olan Mor ve Speranza (2020) yayını inceleyebilirler.

ARP'de bir depodan çıkan araçların kapasite kısıtı olmaması durumunda ise bu problem Çoklu Gezgin Satıcı Problemi'ne (ÇGSP) indirgenmektedir. Bu çalışmada, ÇGSP'nin bir çeşidi olan Açık Uçlu ÇGSP (AUÇGSP) üzerinde çalışılmıştır. Açık uçlu çoklu gezgin satıcı problemi, lojistik uygulamalarında sıklıkla karşılaşılan bir problemdir. Bu çalışmanın motivasyonu, kargo şirketlerinin günlük dağıtım operasyonlarına dayanmaktadır. Kargo şirketlerinin günlük dağıtımlarında, genellikle kuryelerin dağıtım yapacağı bölgeler bellidir. Ayrıca, Türkiye'de hacimleri büyük gönderilerin kargo şirketleri tarafından yapılmadığı bilindiği için, araçların kapasite kısıtını aşma durumu genellikle söz konusu olmamaktadır. Kuryelerin, özellikle akşam dağıtımlarından sonra kargolarını son noktada bırakıp şubeye geri dönmelerinden dolayı, problem AUÇGSP olarak karşımıza çıkmaktadır. Ayrıca bu problem ile, büyük lojistik firmalarının filo kiralama durumu da karşılaşılmaktadır. Kiralanan filolardaki araç sürücüleri, son müşteri ziyaretinin ardından, depoya geri dönmek zorunluluğunda olmadıklarından, yine AUÇGSP söz konusu olmaktadır. AUÇGSP'nin bir diğer uygulamasına ise, hastanelerin evde bakım servisi verme hizmetlerinde rastlanmaktadır. Bir araçta sadece doktor, hemşire ve şoförün olduğu durumda, hastalar ziyaret edildikten sonra aracın hastaneye geri dönme zorunluluğu bulunmaktadır.

AUÇGSP ve AUARP'nin çözümü için ise literatür incelendiğinde, genellikle sezgisel ve metasezgisel algoritmaların geliştirildiği görülmektedir. Yerel arama algoritması, yasaklı arama ve genetik algoritmalar, bu problemin çözümü için kullanılan algoritmalarından bazılarıdır (Brandão, 2004; Shao vd., 2019; Purusotham ve Thenepalle, 2021). Son yıllarda ise literatürde, sadece metasezgisel algoritmaları kullanmak yerine, araştırmacıların matematiksel programlama teknikleri ve sezgisel çözüm yöntemlerinin/metasezgisellerin hibridleştirilmesi sonucu geliştirdikleri matsezgisel yöntemler de mevcuttur (Cai vd., 2018; Lysgaard vd., 2020).

Problemin çözümü için ele alınacak bir diğer yaklaşım ise makine öğrenmesi tekniklerinden faydalanmak şeklinde karşımıza çıkmaktadır. Bilindiği üzere makine öğrenmesi algoritmaları, denetimli ve denetimsiz olmak üzere iki kategoriye ayrılmaktadır. Denetimli öğrenmede, bilgisayar daha önce doğru sınıflandırılmış bir veri kaynağı ile eğitilir. Bu eğitimden çıkarılan anlamlı sonuçlar daha önce bilinmeyen verilerde kullanılır. Sıklıkla kullanılan gözetimli öğrenme algoritmaları Destek Vektör Makineleri, Lojistik Regresyon (LR), Karar Ağaçları ve K-En Yakın Komşuluk Algoritması (K-NN) olarak karşımıza çıkmaktadır. Denetimsiz öğrenmede, bilgisayar ortaya konulan modelde gizli kalıpları kendisi belirlemeye çalışarak, anlamlı bir sonuç çıkarmaya çalışır. Denetimsiz öğrenme algoritmalarından başlıcaları ise K-Medoids, K-Means ve DBSCAN olarak sıralanabilir (Sanlı ve Kartal, 2023).

Son yıllarda makine öğrenmesi tekniklerini uygulayan topluluğun kombinatoriyal eniyileme problemlerini sadece makine öğrenmesi teknikleri ile çözmeye çalıştığı bazı yayınlar mevcuttur (Sun vd., 2021; Nazari vd., 2018). Hem yönelem araştırması hem de makine öğrenmesi tekniklerine aşına olan araştırmacıların bir kısmı da bu iki tekniği birleştirme yönünde araştırmalar yapmışlardır (Günesen ve Kapanoğlu, 2020; Sanlı ve Kartal, 2023). Denetimsiz makine öğrenmesi tekniklerinin AUÇGSP'yi çözmesi için AUARP için öne sürülen, Önce Rotala sonra Kümele veya Önce Kümele sonra Rotala yöntemleriyle hibridleştirildiği yöntemler kullanılabilir. Önce Rotala Sonra

Kümele algoritmalarında önce depodan başlayıp tüm müşterileri ziyaret edecek şekilde bir gezgin satıcı problemi çözülür, ardından bu çözüm araçların kapasitelerini dikkate alarak kaç adet araç varsa kapasite aşmayacak şekilde araç sayısına bölünerek çözüme gidilir. Önce Kümele sonra Rotala algoritmalarında ise önce düğümler kümelenecek araçlara atanır, kapasite kontrolünün ardından bir gezgin satıcı problemi algoritmasıyla son çözüme ulaşılır.

Bu çalışmada ise, Önce Kümele sonra Rotala algoritması sınıflandırmasına girecek şekilde AUÇGSP için bir çözüm aranmıştır. Probleme öncelikle denetimsiz makine öğrenmesi algoritmalarından K-Medoids kümeleme algoritmasıyla düğümlerin araçlara atanması ile başlanmıştır. Araçlara atanan düğümler belirlendikten sonra ise, her bir kümedeki rotaları oluşturmak için açık uçlu bir rota oluşturmak için en yakın komşuluk arama algoritması kullanılmıştır. Literatürde bilindiği kadarıyla kümeleme algoritmalarından K-Medoids algoritmasını kullanarak araçlara atama yapıp, ardından en yakın komşuluk algoritmasını kullanarak rotaları oluşturup AUÇGSP'yi çözen bir yaklaşıma rastlanmamıştır.

Bu çalışmada, ayrıca önerilen algoritmanın başarısı GUROBI ticari çözücüsü ile karşılaştırılmıştır. Çalışmanın literatüre iki katkısı olduğu düşünülmektedir. AUÇGSP gerçek hayattaki lojistik problemlerinde oldukça sık karşılaşılmamasına rağmen, çözüm için özellikle açık kaynaklı kodların kullanılmasının başarısı ölçülmüştür. İkinci olarak da bu çalışma, K-Medoids ve En Yakın Komşuluk Araması Algoritmalarının birlikte kullanılmasının vereceği öngörüye barındırmaktadır.

Çalışmanın ikinci bölümünde literatür taramasına yer verilmiştir. Üçüncü bölümde AUÇGSP matematiksel modeli verilmiştir. Dördüncü bölümde ise, önerilen algoritma açıklanmıştır. Beşinci bölümde Sayısal Sonuçlara yer verilmiştir. Son bölümde ise Sonuç ve Tartışmalar yer almaktadır.

2. Literatür Araştırması (Literature Survey)

Literatür incelendiğinde, AUÇGSP ile ilgili oldukça az sayıda çalışmaya rastlanmıştır. Karşılaşılan çalışmalarda problem sektörün ihtiyaçlarına göre şekillendirilmiş olup, öne çıkan yayınlardan bazıları şöyledir: Purusotham ve Thenepalle (2021) çalışmalarında yük dengeleme kısıtlarını dikkate alarak, açık uçlu gezgin satıcı problemini çözmek için bir genetik algoritma önermişlerdir. Thenepalle ve Purusotham (2019) çalışmalarında, gerçek hayattaki bir lojistik probleminden esinlenerek açık-kapalı uçlu çoklu gezgin satıcı problemi üzerinde çalışmışlardır. Bu problemde, kiralanan filodaki araçların depoya dönme zorunluluğu yokken, firmanın kendi filosunun araçları depoya dönmek zorundadır.

AUÇGSP, serim ağının tasarımı bakımından ÇGSP ile oldukça yakından ilgilidir. Literatürde ÇGSP ile oldukça fazla yayın bulunmaktadır. ÇSGP'nin çeşitli matematiksel modelleme formülasyonları Kara ve Bektaş (2006); Bektaş (2006) çalışmalarında incelenebilir. Ayrıca, ilgili okuyucular ÇGSP ile güncel bir araştırma makalesini Cheikhrouhou ve Khoufi (2021) çalışmasında inceleyebilirler.

AUÇGSP, literatür incelendiğinde Açık Uçlu Araç Rotalama Problemiyle (AUARP) yakından ilintilidir. AUARP bilindiği kadarıyla literatürde ilk defa bir araç filosuna araç kiralama kararlarının dahil olduğu bir çalışmada öne sürülmüştür (Sarıkli ve Powell, 2000). AUARP'nin uygulama alanlarından birisi olan Okul Servisi Rotalama Problemi (OSRP) üzerinde de çeşitli çalışmalar yapılmıştır (Effendy vd., 2021; Effendy ve Yap, 2022; Guo ve Samaranayake, 2022). OSRP okul-işyeri servis hizmetlerinin, toplu taşıma hizmetlerinin planlanması ve özellikle teknolojik gelişmeler ile günümüzde kullanımı yaygınlaşan paylaşımlı araba-bisiklet-scooter gibi araçların kullanımını sağlayan girişimlerin şehir içi hizmet ağı tasarımıyla ele alınan bir problem türü olarak karşımıza çıkmaktadır. Literatürde AUARP'nin gereksinim duyulduğu farklı versiyonları mevcuttur. Bu uygulamalardan çok depolu AUARP'ye Azadeh ve Farrokhi-Asl (2019); Tavakkoli-Moghaddam vd. (2019); Fan vd. (2021); Fernando vd. (2022); Wang vd. (2022) çalışmalarında rastlanabilir. Farklı bir uygulamada ise en uzun rota süresinin enküçüklenmesi amaçlanmıştır (Lysgaard vd., 2020). Zaman penceresi kısıtının dahil olduğu çalışmalara ise Hussain Ahmed ve Yousefikhoshbakht, (2022) ve Cai vd. (2018) çalışmalarında rastlanabilir.

AUÇGSP ve AUARP'ye ilişkin çözümler incelendiğinde ise önerilen farklı yapıdaki matematiksel modeller yanında, düğüm sayısı gerçek hayat büyüklüğündeki örnekler için sezgisel ve metasezgisel çözüm yöntemlerinin geliştirildiği görülmektedir. Metasezgisel yöntemlerin kullanıldığı çalışmalara yerel arama algoritması (Local Search) (Atefi vd., 2018; Cai vd., 2018; Effendy ve Yap, 2022; Fernando vd., 2022; Hosseinabadi vd., 2018), yasaklı arama (Tabu Search) (Brandão, 2004; Shao vd., 2019) ve genetik algoritma (Genetic Algorithm) (Ruiz vd., 2019; Xie vd., 2021; Purusotham ve Thenepalle, 2021) çalışmalarına rastlanmıştır. Problemin çözümü için ayrıca, Cai vd. (2018) ve Lysgaard vd. (2020) çalışmalarında matsezgisel çözüm yöntemleri geliştirilmiştir. İlgili okuyuculara, ARP için geliştirilmiş matsezgisel yaklaşımlarla ilgili bir araştırma çalışması olarak, Archetti ve Spanze (2014) makalesi referans olarak gösterilebilir.

Son yıllarda ise, Gezgin Satıcı Problemi (GSP) ve ARP'nin çözümü için makine öğrenmesi algoritmalarının da sıklıkla kullanıldığı görülmektedir. ARP'yi ilk olarak makine öğrenmesi algoritmalarıyla çözme girişimine Hopfield ve Tank (1985) çalışmasında rastlanabilir. ARP'nin çözümünde ise Önce Rotala Sonra Kümele algoritmaları Beasley (1983); Montoya (2014); veya Önce Kümele Sonra Rotala algoritmalarının kullanıldığı bilinmektedir (Donda ve Cerda, 2007; Asis vd., 2021; Rautela vd., 2018; Geetha vd., 2009, Alesiani vd., 2022; Mostafa ve Eltawir, 2017; Sanli ve Kartal, 2023).

Bu çalışmada ise Önce Kümele Sonra Rotala Algoritmaları grubunda sayılabilecek bir yöntem geliştirilmiştir. Literatür incelendiğinde çalışmaya en yakın yöntemlerin kullanıldığı çalışmalar ise izleyen şekildedir. Günesen ve Kapanoğlu (2021) çalışmalarında ÇGSP'yi hem toplam katedilen mesafeyi en küçükleyecek hem de Enk(Enb) tipindeki amaç fonksiyonunu çözmek için, öncelikle K-Means algoritmasını kullanmışlar, ardından En Yakın Komşuluk Araması Algoritması ile rotaları oluşturmuşlardır. Rautela vd. (2018), ARP'nin çözümünde K-Means algoritmasıyla araç kapasitelerinin aşılmadığı bir çözüm kümesinin bulunmasının ardından, en ucuz link algoritmasıyla rotaları oluşturmuştur. Mostafa ve Eltawir (2017), K-Means yöntemiyle araçlara düğümlerin atanmasının ardından, matematiksel modelleme yardımıyla rotaları oluşturmuştur. Sanli ve Kartal (2023) çalışmalarında, K-NN, Lojistik Regresyon ve K-Means algoritmalarıyla düğümleri araçlara atadıktan sonra, GSP formülasyonu ile literatürden aldıkları bazı veri setleri üzerinde çözüm aramışlardır. Elde ettikleri çözümleri Gurobi çözücüsünden aldıkları alt sınırlarla karşılaştırmışlardır.

Literatür taramasından anlaşılacağı üzere, AUÇGSP problemini çözmek üzere düğümleri araçlara atamak için denetimsiz makine öğrenmesi algoritmalarından K-Medoids ve rotaları oluşturmak için En Yakın Komşuluk Araması Algoritmalarının birleşimi olarak bir çalışmaya rastlanmamıştır.

3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Bu bölümde öncelikle problemin matematiksel modeli (3.1.) ve ardından önerilen yöntem (3.2.) tanıtılacaktır.

3.1. Açık Uçlu Çoklu Gezgin Satıcı Problemi Matematiksel Modeli (Open Multiple Travelling Salesman Problem Mathematical Model)

Bu çalışmada, AUÇGSP'nin matematiksel modeli Lysgaard vd. (2020) tarafından geliştirilen (Enk-Enb)-AUARP matematiksel modeli uyarlanarak elde edilmiştir. Lysgaard vd. (2020) tarafından önerilen matematiksel modelin amacı, herhangi bir araç tarafından katedilen en uzun mesafenin en küçüklenmesidir. Amaç fonksiyonundaki en uzun mesafe/sürenin en küçüklenmesini amaçlayan problemler, literatürde merkez tipi problemler olarak da adlandırılmaktadır. Daha genel anlamda bu problemlerin amacı, rotadaki her bir aracın katettiği toplam mesafenin birbirine yakın değerlerle oluşmasını sağlamaktır. Çalışmanın bundan sonraki bölümlerinde, problem tipinin belirtilmesinde merkez terimi de kullanılmıştır.

Çalışmamızda, Lysgaard vd. (2020) tarafından sunulmuş matematiksel modelin amaç fonksiyonu, araçların toplam kat ettiği mesafenin minimize edecek şekilde değiştirilmesi ile oluşturulmuştur. Ayrıca, AUÇGSP çalışıldığı için, matematiksel modelden kapasite ile ilgili kısıtlar çıkartılmıştır. Lysgaard vd. (2020) problemi klasik araç rotalama problemlerinde olduğu gibi, araçların turlarına depodan başlayıp, aynı depoya geri döndüğü varsayımı altında modellemiştir. Dolayısıyla yazarlar, amaç fonksiyonunda doğru bir hesaplama yapılabilmesi için son düğümden depoya dönüş olmadığını varsaymaktadır. Bu durum; mesafe matrisinin tüm düğümlerden depoya dönüş mesafesinin '0' alınarak oluşturulması sayesinde başarılmıştır. Bu çalışmada da benzer olarak, araç rotalarında ziyaret edilen son müşterilerin depoya geri dönmedikleri varsayıldığı için, Lysgaard vd. (2020) çalışmasına benzer şekilde, tüm düğümlerden depoya dönüş mesafesinin '0' olduğu şeklinde düzenlenmiş bir mesafe matrisi kullanılmıştır.

Matematiksel modele ait parametreler, karar değişkenleri ve kısıtlar aşağıda verilmiştir:

Parametreler

c_{ij}	i. müşteri ile j. müşteri arasındaki mesafe
M	Büyük bir sayı
N	Bütün düğümlerin sayısı
k	Araçlar = 1,...,K
I	Müşteri kümesi = 1, 2, 3, ..., N
V	Depo ve müşterileri içeren düğüm kümesi = 0, 1, 2, ..., N

Karar Değişkenleri

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{i. düğümden j. düğümüne gidilirse,} \\ 0 & \text{diğer durumlar da,} \end{cases}$$

f_{ij} =Araç i düğümünü ziyaretinin ardından j düğümüne ulaştığında rotada katedilen toplam (birikimli) mesafe

$$Enk Z = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0; j \neq i}^N c_{ij} * x_{ij} \quad (1)$$

Kısıtları Altında:

$$\sum_{j \in I; j=1}^N x_{0j} = K, \quad (2)$$

$$\sum_{i \in I; i=1}^N x_{i0} = K, \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^N x_{ij} = 1, \quad \forall j \neq i, j \in I \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^N x_{ji} = 1, \quad \forall j \neq i, j \in I \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^N f_{ij} = \sum_{j=1}^N f_{ji} + \sum_{j=1}^N c_{ij} x_{ij}, \quad \forall i \neq j \in V \quad (6)$$

$$0 \leq f_{ij} \leq M x_{ij}, \quad \forall i \neq j, j \in V \quad (7)$$

$$f_{0j} \geq c_{0j} x_{0j}, \quad \forall j \neq i, j \in I \quad (8)$$

$$f_{ij} \geq c_{0j} + c_{ij} x_{ij}, \quad \forall i \neq j, j \in I \quad (9)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}, \quad f_{ij} \geq 0 \quad (10)$$

Amaç fonksiyonu (1), toplam katedilen mesafeyi en küçüklemektedir. Kısıt (2) ve (3), tüm araçların depodan çıkış yapmasını ve depoya geri dönmesini sağlar. Kısıt (4) ve (5) ise her müşteriye tek bir varış ve her müşteriden tek bir çıkış olmasını garanti eder. Kısıt (6)'da, bir araç bir müşteriye hizmet verdiğinde rotada katedilen toplam mesafenin artışını modellemektedir. Bir başka deyişle, bir araç bir i-j düğümünü sırasıyla ziyaret ettiğinde, bu yolun birikimli olarak hesaplanmış mesafesi f_{ij} değişkeni tarafından güncellenmektedir. Kısıt (7) ile, i müşterisinden j müşterisine araç gittiğinde ($x_{ij} = 1$ olduğunda), f_{ij} değişkeninin 0'dan büyük ve eşit pozitif değer alması sağlanır; aksi durumda f_{ij} değişkeninin 0 değerini alması garantilenir. M büyük bir sayıdır, modelde uzaklık matrisindeki en büyük sayının düğüm sayısı ile çarpımı olarak alınmıştır. Kısıt (8), araçlardan herhangi birinin depodan j müşterisine gitmesi halinde f_{0j} değişkeninin, depo ile j müşterisi arasındaki mesafe değerini almasını sağlar. Benzer şekilde, Kısıt (9) ise toplam rota mesafesinin i. müşteriden j. müşteriye gidilmesi durumunda, i. müşteri ile j. müşteri arasındaki mesafenin eklenerek güncellenmesini sağlar. Matematiksel model $O(n^2)$ kısıt ve değişken içermektedir.

Burada belirtilmek istenen, klasik iki indisli veya üç indisli araç akış formülasyonuna dayalı olarak oluşturulan ÇGSP (veya ARP) matematiksel modeli, tüm düğümlerden depoya dönüş mesafesinin '0' olması şeklinde oluşturulan bir mesafe matrisi ile çözümlerse, bu çalışmada yukarıda verilen matematiksel modelin çözümü ile aynı sonucu verecektir (Toth and Vigo, 2014). Ayrıca, belirtilmek istenen diğer bir nokta ise, klasik formülasyonlarda yer alan alt-tur engelleme kısıtlarının, bu modelde yer almamasıdır. İlgili okuyucular literatürde sıklıkla kullanılan alt-tur engelleme kısıtları için, Miller vd. (1960) ve Dantzig vd. (1959) makalelerini inceleyebilirler.

Bu çalışmada, Lysgaard vd. (2020) tarafından önerilen matematiksel modelin tercih edilmesinin iki nedeni vardır. Tercihin ilk nedeni; yapılan ön denemelerde, üç indisli araç akış formülasyonuna dayalı olarak oluşturulan klasik ARP matematiksel modelinin güncellenmiş mesafe matrisi ile çözüm süresinin, bu çalışmada kullanılan matematiksel modelin performansına yetişememiş olmasıdır. Bir diğer neden ise, bu modelin aynı zamanda, en fazla mesafe kateden rotasının uzunluğunun en küçüklenmesine izin verecek şekilde formüle edilebilmesine olanak sağlayan esnek bir yapıda olmasıdır. Klasik çoklu gezgin satıcı problemi ya da araç rotalama problemi formülasyonları tek bir rota uzunluğunu hesaplayan kısıtları içermemektedir. Dolayısıyla, bu çalışma boyunca,

AUÇGSP'ni çözmek için uyarlanan matematiksel model ile literatürdeki farklı bir modelleme yaklaşımının da tanıtılması hedeflenmiştir. Bir sonraki bölümde, problemin çözümü için önerilen yöntem tanıtılacaktır.

3.2. Önerilen Yöntem (Proposed Method)

K-Medoids algoritması, n adet düğümün veri setini k kümeye bölen, k küme sayısının önceden bilindiği varsayılan denetimsiz makine öğrenmesi algoritmaları grubundan bir kümeleme tekniğidir. Algoritmanın çalışma mantığına göre, bir kümenin ortası, kümedeki tüm nesnelere ortalama farklılığı minimum olan, bir başka deyişle kümedeki en merkezi konumdaki nokta olan nesne olarak tanımlanır. Algoritma n adet veri noktasından k tanesini medoid olarak seçimle başlamaktadır. Ardından veri setindeki her bir düğümü en yakın medoid noktasıyla ilişkilendirerek devam eder. Her bir medoid ve medoid olmayan veri noktalarının değişimi ile maliyet değişikliği hesaplanır. Maliyet değişimi mevcut çözümden daha iyi ise, bu çözüm kombinasyonu kabul edilir (Kaufman ve Rousseeuw, 1990; Jin ve Han, 2011).

K-Medoids algoritmasıyla düğümlerin araçlara atanmasının ardından, depoya geri dönme mesafesini dikkate almayan bir algoritma olan en yakın komşuluk algoritması kullanılmıştır. En yakın komşuluk algoritmasında ise, depodan başlanarak bir araca atanan düğümler içerisinden sürekli bulunan yerden en yakına gidilerek tüm şehirler ziyaret edildiğinde algoritma sonlandırılmıştır.

4. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

Sayısal sonuçların elde edilmesi için literatürden zaman pencereli araç rotalama problemleri için türetilmiş olan Solomon (1987) veri seti seçilmiştir. Bu veri setinin seçilmesinin nedeni, düğümlerin rassal olarak, kümelenmiş olarak ve rassal ve kümelenmiş verilerin hibridleştirilmesine dayalı olarak türetilmiş olmasıdır. K-Medoids algoritması Python ve Python kütüphaneleri; Ski-learn, Pandas ve Numpy kullanılarak çalıştırılmıştır. Test problemleri, Gurobi 10.0.2 ticari çözücüsü ile çözülmüştür ve sonuçlar Google Colab üzerinden alınmıştır. Ayrıca en yakın komşuluk algoritmasının sonuçlarına Google OR-Tools üzerinden erişilmiştir (Google OR-Tools, 2023).

Kullanılan K-medoids algoritmasında K değeri araç sayısı olarak alınmıştır. Düğümlerin birbiri arasındaki mesafeler öklit uzaklıkları hesaplanarak oluşturulmuştur. Çalışmada kümelenmiş veri setlerinden C101 ve C201, rassal olarak türetilmiş veri seti R101 ve rassal ve kümelenmiş hibrid veri setlerinden ise RC101 üzerinden problem örnekleri çalıştırılmıştır (Solomon, 1987). Problem örneklerinde 25, 50 ve 100 düğümlük verilere yer verilmiştir. Ayrıca araç sayıları da 2, 3, 4 ve 5 araç olarak alınmıştır. Burada belirtmek istenen, Solomon (1987) zaman pencereli araç rotalama problemleri için öne sürüldüğünden, sadece kümelenmiş veri setlerinde X ve Y koordinatları farklı veri setleri mevcuttur. Ancak rassal olarak türetilmiş R veri setlerinde ve hibrid rassal-kümelenmiş veri setlerinde düğümlerin X ve Y koordinatları aynıdır. Bu veri setlerindeki çeşitlilik zaman pencereleri ile sağlanmıştır.

Önerilen algoritma ve Gurobi ticari çözücüsüne ait sonuçlar kümelenmiş veri setleri olan **Tablo 1.**'de verilmiştir. Tablo'nun ilk sütununda problemin özelliklerine yer verilmiştir. Buna göre ilk sırada veri seti, ikinci sırada toplam düğüm sayısı n ve son olarak da kullanılan araç sayısı v olarak belirtilmiştir. Önerilen algoritmanın ve Gurobi çözücüsünün her bir araç rotasının maliyetlerine ek olarak toplam rota maliyetleri de sonuç (Top.) sütununda sunulmuştur. Gurobi çözücüsünden elde edilen tüm sonuçlar optimal sonuçlardır. Dolayısıyla bir alt sınır rapor edilmemiştir. Önerilen algoritmanın çalışma süresi mikrosaniye civarında olduğu için raporlanmamıştır. Ancak, Gurobi çözücüsünün her bir problemi çözmek için harcadığı süreler, Gurobi tarafından hesaplanan amaç fonksiyonlarının bulunduğu sütundan bir sonraki sütunda raporlanmıştır. Son olarak **Tablo 1.**'in son sütununda önerilen yöntemin Gurobi çözücüsünden alınan optimal çözümlere olan yakınlığı verilmiştir.

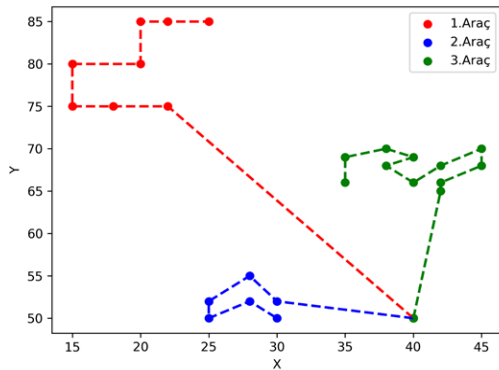
Tablo 1. incelendiğinde Gurobi tarafından bulunan optimal çözümler için ortalama 9,02 saniye gerekmiştir. Gurobi çözücüsünün en çok süreye ihtiyaç duyduğu örnek 100.3 örneğidir. Tablo incelendiğinde 50 düğümlük örneklerde de 3 araçlı problemlerin en çok süreye ihtiyaç duyduğu görülmektedir. Bunun nedeni düğüm sayısı arttıkça ve araç sayısı azaldıkça, her bir rotada ortalama ziyaret edilmesi gereken düğümün artması olarak yorumlanabilir. Ancak yine de, Gurobi çözücüsü tarafından bulunan değerlerin optimal olduğu göz önüne alındığında, gerçek hayat büyüklüğündeki problem örnekleri için bu süreler makuldür. Önerilen algoritmanın performansı incelenmek istendiğinde ise, algoritmanın Gurobi çözümüne en uzak değeri %28,9 iken; en yakın çözümde %7,6 olarak gerçekleştiği görülmektedir. Ele alınan farklı örnekler için optimal çözümlere ortalama %14,7 uzaklıkta sonuçlara erişilmiştir. Önerilen algoritmanın kümelenmiş veri setlerinde nasıl bir davranış gösterdiğini incelemek için C101.25.3 örneği, optimal çözüme en yakın örnek olduğundan seçilmiş ve amaç fonksiyonları arasındaki bu küçük farklılığın nereden kaynaklandığı incelenmek istenmiştir. Bu amaçla Önerilen Algoritma'ya ait sonuçlar Şekil 1.a.'da, Gurobi çözücüsüne ait sonuçlar ise Şekil 1.b.'de verilmiştir (Şekil 1.).

Tablo 1. AUÇGSP için Önerilen Algoritma ve Gurobi Çözücüsü Sonuçlarının Kümelmiş Veri Setleri Üzerinde Karşılaştırılması (The Comparison of the Proposed Algorithm and Gurobi Solver for OMTSP on Clustered Data Sets)

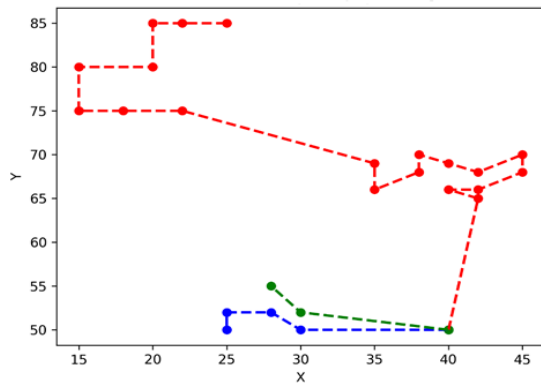
n_v	ÖNERİLEN YÖNTEM						GUROBI						Süre (sn)	Fark (%)
	Rota 1	Rota 2	Rota 3	Rota 4	Rota 5	Top.	Rota 1	Rota 2	Rota 3	Rota 4	Rota 5	Top.		
C101.25.2	57	58				115	80	23				103	0,82	0,104
C101.25.3	57	24	38			119	80	17	13			110	1,71	0,076
C101.25.4	57	24	26	26		133	80	10	17	13		120	0,63	0,098
C101.50.3	70	107	60			237	80	82	38			200	3,03	0,156
C101.50.4	38	96	38	63		235	80	67	21	38		206	1,36	0,123
C101.50.5	38	57	38	63	38	234	80	10	21	67	38	216	1,31	0,077
C101.100.3	107	188	239			534	67	248	120			435	33,3	0,185
C101.100.4	157	75	136	156		524	73	82	120	157		432	29,5	0,176
C101.100.5	138	107	101	128	138	612	73	82	82	41	157	435	20,6	0,289
C201.25.2	103	71				174	128	27				155	0,68	0,109
C201.25.3	79	72	42			193	42	27	85			154	0,40	0,202
C201.25.4	57	68	42	41		208	42	80	27	11		160	0,43	0,231
C201.50.3	134	106	65			305	146	60	60			266	2,55	0,128
C201.50.4	91	92	65	87		335	55	146	11	60		272	1,89	0,188
C201.50.5	40	60	63	78	91	332	42	61	105	11	60	279	1,17	0,160
C201.100.3	177	194	191			562	153	218	131			502	25,3	0,107
C201.100.4	154	103	177	111		545	105	66	218	113		502	18,9	0,079
C201.100.5	105	110	174	111	103	603	61	105	11	218	113	508	18,9	0,158
	Ortalama												9,02	0,147

K-Medoids algoritmasının kümeleme konusunda görüleceği üzere çok başarılı bir şekilde ayrışım yaptığı, ancak Gurobi çözücüsünün amacının toplam maliyeti en küçükleme olduğu için K-Medoids algoritmasının tek bir araç kümesine atadığı düğümleri (2.arac Şekil 1.a.); Gurobi çözücüsünün iki araca atadığı görülmektedir. Tablo 1.'den izleneceği üzere; Gurobi çözücüsünün 1. aracının toplam katettiği uzaklık 80 birim iken, K-Medoids sonucu oluşturulan kümenin rotalanması sonucu toplam uzaklık 57 birim olmuştur. Gurobi çözücüsünden alınan diğer rotaların uzunlukları 17 ve 13 birim şeklinde oluşmuş, ancak önerilen algoritmada bu değerler 54 ve 38 birim olarak gerçekleşmiştir. Dolayısıyla Gurobi çözücüsü toplam maliyeti düşürdüğü için, araçların toplam katettikleri mesafelerin ve ziyaret edilen düğüm sayılarının birbirlerinden oldukça farklı çıkması şaşırtıcı değildir.

K-Medoids algoritması kümeleme konusunda başarılı olduğu için, amaç fonksiyonu merkez (Enk-Enb) şeklinde en uzun rota mesafesinin en küçükleme tarzı problemlerin çözümünde kullanılırsa da iyi bir sonuca ulaşılabileceği yorumu yapılabilir. Bilindiği üzere bu problemlerin amacı, her bir rotanın toplam katettiği mesafeyi birbirine yakın olarak hesaplamaktır. Ancak yine de, K-Medoids algoritması gibi kümeleme algoritmaları veri tipine ve ele alınan problemin amaç fonksiyonuna bağlı olarak performans başarıları anlamında birçok faktöre bağlıdır.



Şekil 1.a. (Figure 1.a.) Önerilen Algoritma Sonuçları (Results of the Proposed Algorithm)



Şekil 1.b. (Figure 1.b.) Gurobi Sonuçları (Gurobi Results)

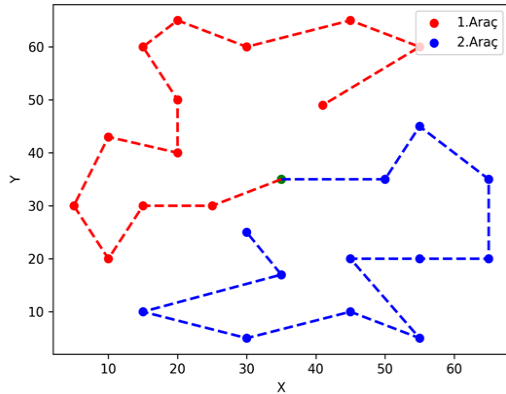
Şekil 1. C101.25.3 örneğinde Önerilen Algoritma ve Gurobi Çözümlerinin Grafik Üzerinde Gösterimi (Results of the Proposed Algorithm and Gurobi Solver on C101.25.3)

Tablo 2.'de ise rassal veri setlerine ait Önerilen Yöntem ve Gurobi çözücüsünden alınan sonuçlar verilmiştir. Tablo 1.'de olduğu gibi, Tablo 2.'de verilen Gurobi çözümlerinin hepsi optimal çözümlerdir.

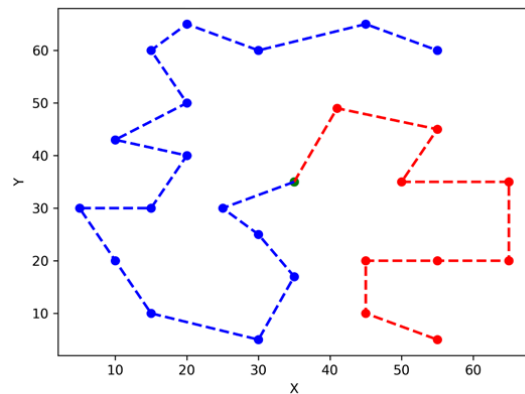
Tablo 2. AUÇGSP için Önerilen Algoritma ve Gurobi Çözücüsü Sonuçlarının Karşılaştırılması Rassel Veri Setleri Üzerinde Karşılaştırılması (The Comparison of the Proposed Algorithm and Gurobi Solver for OMTSP on Random Data Sets)

n_v	ÖNERİLEN YÖNTEM						GUROBI						Süre (sn)	Fark (%)
	Rota 1	Rota 2	Rota 3	Rota 4	Rota 5	Top.	Rota 1	Rota 2	Rota 3	Rota 4	Rota 5	Top.		
R101.25.2	148	164				312	111	175				286	0,4	0,083
R101.25.3	112	111	93			316	15	175	96			286	0,6	0,095
R101.25.4	86	74	66	95		321	111	53	33	92		289	0,5	0,100
R101.50.3	154	172	166			492	210	51	168			429	4,0	0,128
R101.50.4	109	155	112	116		492	27	196	51	156		430	4,1	0,126
R101.50.5	62	111	97	99	107	476	79	20	115	63	156	433	1,4	0,090
R101.100.3	171	248	232			651	203	253	131			587	26,5	0,098
R101.100.4	140	174	177	165		656	304	74	72	134		584	22,2	0,110
R101.100.5	136	172	133	85	132	658	113	74	192	72	134	585	19,4	0,111
Ortalama												8,8	0,105	

Tablo 2. incelendiğinde, Tablo 1.'de olduğu gibi, Gurobi çözücüsü tarafından en uzun süreye ihtiyaç duyulan örnek R101.100.3 örneğidir. Bu örnek yine, problemler arasında bir rotaya ortalama en fazla düğüm sayısının düştüğü örnektir. K-Medoids algoritması ile düğümlerin kümelere atanıp, ardından araç rotalarının En Yakın Komşuluk Algoritması ile oluşturulduğu yöntem, Gurobi tarafından alınan optimal çözümlere ortalama %10,5 uzaklıkta gerçekleşmiştir. Rassel olarak dağılmış veri setlerindeki en yakın fark %8,3 olarak gerçekleşmişken, %12,8 ile en uzak çözüm oluşmuştur. Önerilen Yöntem ve Gurobi çözücülerinin farklılıklarını daha ayrıntılı inceleyebilmek için, R101_25.2 örneğine ait sonuçlar Şekil 2.'de verilmiştir (Şekil 2.a. Önerilen Yöntem; Şekil 2.b. Gurobi Çözücüsü Sonuçları). Bu örneğin seçilmesinin nedeni, optimal çözüme en yakın örnek olması nedeniyle.



Şekil 2.a. (Figure 2.a.) Önerilen Algoritma Sonuçları
(Results of the Proposed Algorithm)



Şekil 2.b. (Figure 2.b.) Gurobi Sonuçları (Gurobi Results)

Şekil 2. R101.25.2 örneğinde Önerilen Algoritma ve Gurobi Çözümlerinin Grafik Üzerinde Gösterimi (Results of the Proposed Algorithm and Gurobi Solver on R101.25.2)

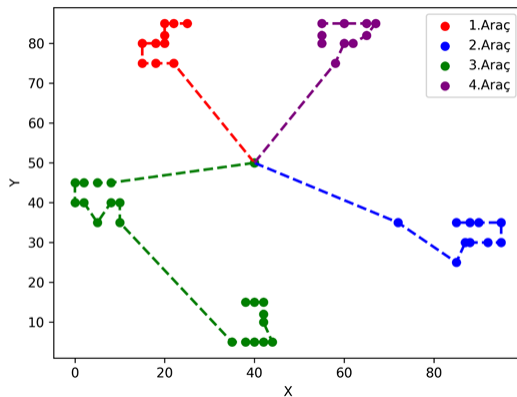
K-Medoids algoritmasından elde edilen sonuçlara göre grafiğin üst bölgesi ilk araca, alt bölgesi ise ikinci araca atanmıştır (Şekil 2.a.). Bu rotaların uzunlukları ise 148 birim ve 164 birim olarak hesaplanmıştır. Ancak Gurobi çözümünde ise 1. Aracın toplam uzunluğu 111 birim iken, ikinci aracın toplam maliyeti 175 birim olarak gerçekleşmiştir. Lojistik ve taşımalarla ilgili gerçek hayat uygulamalarında, her iki çözümünde uygulanabilir olduğu aşikardır. Karar vericiler ve yöneticiler, önerilen algoritmayı özellikle rassel dağılmış veri setlerinde sürücülerin benzer sayıda düğüme uğramalarının tercih edilebilir olduğu durumlarda kullanabilir. Şekil 2.'deki gibi rassel dağılmış 25 düğüm üzerinde Önerilen Yöntem sonucunda, birinci araç 13 düğümü ziyaret ederken, ikinci araç 12 düğümü ziyaret etmektedir.

Hibrid olarak kümelendirilmiş-rassel bir şekilde türetilmiş olan Solomon (1987)'ye ait RC veri setine ait çözümler ise Tablo 3.'te verilmiştir. Tablo 3.'ün yapısı Tablo 1. ve Tablo 2. ile aynıdır. Tablo 1. ve Tablo 2.'dekine benzer şekilde Gurobi çözümleri tüm problem tipleri için optimaldir.

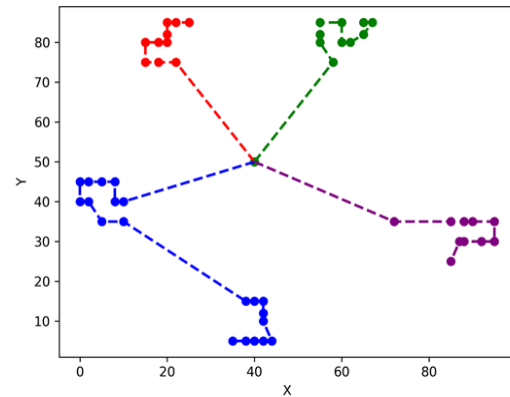
Tablo 3. AUÇGSP için Önerilen Algoritma ve Gurobi Çözücüsü Sonuçlarının Karşılaştırılması Hibrid Kümelmiş-Rassal Veri Setleri Üzerinde Karşılaştırılması (The Comparison of the Proposed Algorithm and Gurobi Solver for OMTSP on Hybrid Clustered-Random Data Sets)

n_v	ÖNERİLEN YÖNTEM						GUROBI						Süre (sn)	Fark (%)
	Rota 1	Rota 2	Rota 3	Rota 4	Rota 5	Top.	Rota 1	Rota 2	Rota 3	Rota 4	Rota 5	Top.		
RC101.25.2	66	124				190	57	120				177	0,4	0,068
RC101.25.3	66	63	57			186	57	63	58			178	0,5	0,043
RC101.25.4	52	57	44	66		219	57	43	47	58		205	0,3	0,064
RC101.50.3	155	57	126			338	117	120	76			313	1,8	0,074
RC101.50.4	57	79	126	60		322	57	120	60	76		313	2,3	0,028
RC101.50.5	57	79	66	60	63	325	57	63	58	60	76	314	2,0	0,034
RC101.100.3	218	188	267			673	104	86	395			585	32,8	0,131
RC101.100.4	113	163	157	244		677	104	303	86	86		579	19,7	0,145
RC101.100.5	163	108	146	113	143	673	117	198	86	91	86	578	12,9	0,141
	Ortalama											8,1	0,081	

Tablo 3.'ten inceleneceği üzere, Gurobi çözücüsü tarafından alınan optimum sonuçlara en yakın sonuçlar rassal-kümelmiş bir şekilde oluşturulan veri setinden elde edilmiştir. Önerilen algoritma ve Gurobi çözücüsünün birbirine en yakın sonuç verdiği örnek RC101_50_4 problemi de şekil üzerinde gösterilerek (Şekil 3.), bu küçük (yaklaşık %3) farklılığın nereden kaynaklandığının incelenmesine karar verilmiştir. Bu amaçla Şekil 3.a.'da önerilen algoritma ve Şekil 3.b.'de ise Gurobi çözümüne yer verilmiştir.



Şekil 3.a. (Figure 3.a.) Önerilen Algoritma Sonuçları (Results of the Proposed Algorithm)



Şekil 3.b. (Figure 3.b.) Gurobi Sonuçları (Results of Gurobi Solver)

Şekil 3. (Figure 3.) RC101.50.4 örneğinde Önerilen Algoritma ve Gurobi Çözümlerinin Grafik Üzerinde Gösterimi (Results of the Proposed Algorithm and Gurobi Solver on RC101.50.4)

Şekil 3.a. ve Şekil 3.b. incelendiğinde araçlara atanan düğümlerin K-Medoids algoritması ve Gurobi çözücüsü tarafından aynı olduğu görülmektedir. Ancak 1. araç haricinde rotalarda şehirlere uğrama sırasında küçük farklılıklar olduğu görülmektedir. Amaç fonksiyonlarındaki bu değişim en yakın komşuluk araması algoritmasının aç gözlü bir şekilde ilerlemesinden ötürü optimal çözüme erişemediği aşıkardır. Ancak yine de, Şekil 3.a.'daki gibi bir bölge dahilinde oluşacak rotalar, gerçek hayat örneklerinde kabul edilebilir düzeydedir.

5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Bu çalışmada, açık uçlu çoklu gezgin satıcı problemi üzerinde çalışılarak bir çözüm önerisinde bulunulmuştur. Açık uçlu çoklu gezgin satıcı problemi, lojistik uygulamalarında sıklıkla karşılaşılan bir problemdir. Özellikle kargo şirketlerinin uygulamalarında kuryelerin kargoları dağıtımda bu problemle karşılaştığı bilinmektedir.

Ele alınan problem lojistik sektörü için çok önemli bir problem olmasına karşın, sektör çalışanlarının yöneylem araştırması ve matematiksel modelleme konularında hem yetersiz olması, hem de gerçek hayat problemlerindeki düğüm sayısı artışında, kesin çözüm yöntemlerinin yetersiz olması nedeniyle, bu çalışmada pratik hayatta kullanılabilir bir çözüm yöntemi önerilmiştir. Önerilen çözüm yöntemi denetimsiz makine öğrenmesi algoritmalarından K-Medoids ile araçlara atanacak düğümlerin bulunmasının ardından, En Yakın Komşuluk

Araması Algoritması ile rotaların oluşturulmasını içermektedir. Bu yöntemin tamamen açık kaynak kodlu yazılımlar ile erişilebilir nitelikte olması nedeniyle, sektör çalışanlarına bir yol gösterici niteliği taşımaktadır. Ayrıca önerilen çözüm yöntemi, literatürden alınan farklı özellikler taşıyan veri setlerinde makul çözümler üretebilmiştir.

Bu çalışmadaki amaç, araçların kat ettikleri toplam mesafenin en küçüklenmesi olmasına karşın, özellikle şehir içi otobüslerin ve okul servislerinde hizmet alan şoförlerin seyahat süresini birbirine yakınlaştırmak için gelecek çalışmalarda AUÇGSP için amaç fonksiyonları merkez tipi (Enk-Enb) problemler üzerinde önerilen algoritmanın başarısı incelenebilir. Ayrıca denetimli makine öğrenmesi algoritmalarının kümelemedeki başarısı gelecek çalışmalar için araştırma konusu olabilir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

Kaynaklar (References)

- Alesiani F., Ermiş G., Konstantinos G., 2022. Constrained Clustering for the Capacitated Vehicle Routing Problem. *Applied Artificial Intelligence* 36(1).
- Archetti, C., Speranza, M.G. 2014. A Survey on Heuristics for Routing Problems. *EURO Journal on Computational Optimization*, 2, 223–246.
- Asis L.S., Eduardo C., Grossmann E.I., 2021. A MILP-based Clustering Strategy for Integrating The Operational Management of Crude Oil Supply. *Computers & Chemical Engineering*, 145.
- Atefi, R., Salari, M., C. Coelho, L., Renaud, J., 2018. The Open Vehicle Routing Problem with Decoupling Points. *European Journal of Operational Research*, 265(1), 316–327.
- Azadeh, A., Farrokhi-Asl, H., 2019. The Close-Open Mixed Multi Depot Vehicle Routing Problem Considering Internal and External Fleet Of Vehicles. *Transportation Letters*, 11(2), 78–92.
- Beasley, J.E., 1983. Route First-Cluster Second Methods For Vehicle Routing. *Omega*, 11(4), 403-408.
- Bektas, T., 2006. The Multiple Traveling Salesman Problem: An Overview of Formulations and Solution Procedures. *Omega*, 34(3), 209-219.
- Brandão, J., 2004. A Tabu Search Algorithm for The Open Vehicle Routing Problem. *European Journal of Operational Research*, 157(3), 552–564.
- Cai, Z., Zhang, Z., He, H., 2018. Solving the Last Mile Delivery Problem Using Iterated Local Search Approach. *ICNSC 2018 - 15th IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control*, 1–6.
- Cheikhrouhou, O., Khoufi, I., 2021. A Comprehensive Survey on the Multiple Traveling Salesman Problem: Applications, Approaches and Taxonomy. *Computer Science Review*, 40, 100369.
- Dantzig, G.B., Ramser, J.H. 1959. The Truck Dispatching Problem. *Management Science*, 6 (1), 80–91.
- Dondo, R., Cerdá, J., 2007. A Cluster-Based Optimization Approach for the Multidepot Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem with Time Windows. *European Journal of Operational Research*, 176, 1478-1507.
- Effendy, S., Ngo, B. C., Yap, R. H. C., 2021. An Efficient Heuristic for Passenger Bus VRP with Preferences and Tradeoffs. *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 12931 LNCS, 121–127.
- Effendy, S., Yap, R. H. C., 2022. Real-Time Passenger Bus Routing Problems with Preferences and Tradeoffs. *Annals of Mathematics and Artificial Intelligence*, 10472.
- Fan, H., Zhang, X., Ren, X., Liu, P., 2021. Optimization of Multi-Depot Open Split Delivery Vehicle Routing Problem with Simultaneous Delivery and Pick-Up. *Xitong Gongcheng Lilun yu Shijian/System Engineering Theory and Practice*, 41(6), 1521–1534.
- Fernando, M., Thibbotuwawa, A., Perera, H.N., Ratnayake, R.M.C., 2022. Close-Open Mixed Vehicle Routing Optimization Model with Multiple Collecting Centers to Collect Farmers' Perishable Produce. *International Conference for Advancement in Technology (ICONAT)*, Goa, India, 1-8.
- Geetha, S., Poonthalir, G., Vanathi, P.T., 2009. Improved K-Means Algorithm for Capacitated Clustering Problem. *INFOCOMP Journal of Computer Science*, 8(4), 52-59.
- Gendreau, M., Laporte, G., Musaraganyi, C., Taillard, E.D., 1999. A Tabu Search Heuristic for the Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem. *Computers & Operations Research*, 26, 1153-1173.
- Guo, X., Samaranyake, S., 2022. Shareability Network Based Decomposition Approach for Solving Large-Scale Single School Routing Problems. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 140, 103691.
- Günesen, B., Kapanoğlu, M., 2021. İki Amaçlı Çoklu Gezgin Satıcı Problemi için Üç Aşamalı Çözüm Yaklaşımı. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, Ejosat Özel Sayı 2021 (HORA)*, 325-331.
- Hopfield, J. J., Tank, D.W., 1985. Neural Computation of Decisions in Optimization Problems. *Biological Cybernetics* 52(3), 141–152.
- Hosseinabadi, A. A. R., Vahidi, J., Balas, V. E., Mirkamali, S. S., 2018. OVRP_GELS: Solving Open Vehicle Routing Problem Using the Gravitational Emulation Local Search Algorithm. *Neural Computing and Applications*, 29(10), 955–968.
- Hussain Ahmed, Z., Yousefikhoshbakht, M., 2022. An Improved Tabu Search Algorithm for Solving Heterogeneous Fixed Fleet Open Vehicle Routing Problem with Time Windows. *Alexandria Engineering Journal*, 64, 349-363.

- Jin, X., Han, J., 2011. K-Medoids Clustering. Editörler: Sammut, C., Webb, G.I., Encyclopedia of Machine Learning, içinde (564-565). Springer, Boston, MA, USA.
- Kara, I., Bektas, T., 2006. Integer Linear Programming Formulations of Multiple Salesman Problems and Its Variations. *European Journal of Operational Research*, 174(3), 1449-1458.
- Kaufman, L., Rousseeuw, P., J., 1990. Partitioning Around Medoids (Program PAM). Wiley Series in Probability and Statistics, Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc., 68-125.
- Lysgaard, J., López-Sánchez, A. D., Hernández-Díaz, A. G., 2020. A Matheuristic for the Min-Max Capacitated Open Vehicle Routing Problem. *International Transactions in Operational Research*, 27(1), 394-417.
- Miller, C.E., Tucker, E.W., Zemlin, R.A. 1960. Integer Programming Formulations and Travelling Salesman Problems. *Journal of the ACM*, 7, 326-329.
- Montoya, J.A., Guéret, C., Mendoza, J.E., Villegas, J.G., 2014. A Route First Cluster-Second Heuristic for the Green Vehicle Routing Problem. ROADEF 2014, Bordeaux, France.
- Mor, A., Speranza, M.G., 2020. Vehicle Routing Problems Over Time: A Survey. *4OR-Quarter Journal of Operations Research*, 18, 129-149.
- Mostafa, N., Eltawir, A., 2017. Solving the Heterogeneous Capacitated Vehicle Routing Problem Using K-Means Clustering and Valid Inequalities. *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Rabat, Morocco, April 11-13*.
- Nazari, M., Afshin, O., Snyder, L.V., Takac, M., 2018. Reinforcement Learning for Solving the Vehicle Routing Problem. 2018. Erişim adresi: <https://arxiv.org/abs/1802.04240>
- Oropeza, A., Cruz-Chávez, M., Cruz-Rosal Martín, H., Bernal, P., Abarca J.C., 2012. Unsupervised Clustering Method for the Capacitated Vehicle Routing Problem. Ninth Electronics, Robotics and Automotive Mechanics Conference, Mexico. DOI:10.1109/CERMA.2012.41
- Purushotham, S., Thenepalle, J.K., 2021. An Efficient Genetic Algorithm for Solving Open Multiple Travelling Salesman Problem with Load Balancing Constraint. *Decision Science Letters*, 10, 525-534.
- Rautela, A., Sharma, S.K., Bhardwaj, P., 2018. Distribution Planning Using Capacitated Clustering And Vehicle Routing Problem. *Journal of Advances in Management Research*, 16(5), 781-795.
- Ropke, S., Pisinger, D., 2006. An Adaptive Large Neighborhood Search Heuristic for the Pickup and Delivery Problem with Time Windows. *Transportation Science*, 40,455-472, 2006.
- Ruiz, E., Soto-Mendoza, V., Ruiz Barbosa, A. E., Reyes, R., 2019. Solving the Open Vehicle Routing Problem with Capacity and Distance Constraints with a Biased Random Key Genetic Algorithm. *Computers and Industrial Engineering*, 133, 207-219.
- Sanlı, O. ve Kartal, Z., 2024. Kapasiteli Araç Rotalama Problemi için Makine Öğrenmesi ve Matematiksel Programlama Temelli Hibrid Bir Çözüm Önerisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Dergisi*, 39(2), 741-755.
- Sariklis, D., Powell, S., 2000. A Heuristic Method for the Open Vehicle Routing Problem. *The Journal of the Operational Research Society*, 51(5), 564-573.
- Shao, S., Xu, G., Li, M., 2019. The Design of an Iot-Based Route Optimization System: A Smart Product-Service System (Spss) Approach. *Advanced Engineering Informatics*, 42, 101006.
- Solomon, M., 1987. Algorithms for the Vehicle Routing and Scheduling Problems with Time Window Constraints. *Operation Research*, 35, 254-265.
- Sun, Y., Ernst, A., Li, X., Jake, W., 2021. Generalization of Machine Learning for Problem Reduction: A Case Study on Travelling Salesman Problems. *OR Spectrum* 43, 607-633.
- Tavakkoli-Moghaddam, R., Meskini, M., Nasser, H., Tavakkoli-Moghaddam, H., 2019. A Multi-Depot Close and Open Vehicle Routing Problem with Heterogeneous Vehicles. *Proceedings of the 2019 International Conference on Industrial Engineering and Systems Management, IESM 2019*, 1-6.
- Thenepalle, J.K., Purushotham, S., 2019. An Open Close Multiple Travelling Salesman Problem with Single Depot. *Decision Science Letters*, 8, 121-136.
- Toth, P., Vigo, D. 2014. *Vehicle Routing: Problems, Methods, and Applications*, MOS-SIAM Series on Optimization, SIAM, Philadelphia, USA.
- Wang, Y., Ran, L., Guan, X., Fan, J., Sun, Y., Wang, H., 2022. Collaborative Multicenter Vehicle Routing Problem with Time Windows and Mixed Deliveries and Pickups. *Expert Systems with Applications*, 197, 116690.
- Xie, Y., Guo, Y., Zhou, T., Mi, Z., Yang, Y., Sadoun, B., Obaidat, M. S., 2021. A Strategy to Alleviate Rush Hour Traffics in Urban Areas Based on School-Trip Commute Information. *IEEE Systems Journal*, 15(2), 2630-2641.
- Google OR-Tools (2023).
Erişim Adresi: https://developers.google.com/optimization/routing/routing_options?hl=tr



FARKLI YETİŞTİRME YÖNTEMLERİNİN NATÜREL VE KAVRULMUŞ FINDIKLARIN AĞIR METAL, HMF VE AKRİLAMİD DÜZEYLERİNE ETKİSİ

Hasan KARAOSMANOĞLU^{1*}

¹Giresun Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Fındık Eksperti Programı

Anahtar Kelimeler

*Toksik Metal,
Hidroksimetil Furfural,
Isıl İşlem Kontaminantı,
Gıda Güvenliği,
Organik Fındık.*

Öz

Bu çalışmada organik ve konvansiyonel koşullarda yetiştirilmiş fındıkların ağır metal, hidroksimetil-furfural (HMF) ve akrilamid düzeylerinin karşılaştırılması amaçlanmıştır. Sonuçlara göre incelenen 16 metalden 9'unun üretim yönteminden etkilendiği görülmüştür. Farklılık tespit edilen metallerden stronsiyum hariç diğerlerinde organik örneklerin daha az düzeyde kontamine olduğu görülmüştür. Organik örneklerin alüminyum, kobalt, nikel, rubidyum, baryum, civa konsantrasyonları konvansiyonellerden sırasıyla 3.96, 3.19, 1.47, 3.65, 2.51, 2 kat daha düşük bulunmuş ayrıca organik fındıklarda kurşun, sezyum, kadmiyum tespit edilmemiştir. Toplam ağır metal yoğunluğunun konvansiyonel örneklerde (38.84 mg kg⁻¹) organiklerin (18.79 mg kg⁻¹) iki katından fazla olduğu belirlenmiştir. Natürel örneklerde HMF tespit edilmezken, kavrulmuş organik fındıklarda 3.32-7.58 mg kg⁻¹, konvansiyonellerde 2.59-8.94 mg kg⁻¹ arasında değiştiği tespit edilmiş, üretim yönteminin tutarlı bir etkisi görülmemiştir. Hiçbir örnekte akrilamid belirlenmemiştir. Sonuç olarak organik ve konvansiyonel fındıkların incelenen toksik kontaminant yüklerinin tavsiye edilen ve yasal limitlerin altında olduğu bu nedenle gıda güvenliği riski taşımadığı görülmüştür. Daha düşük düzeyde metal içermesi, çevre kirliliği ve üretici sağlığı tehdidi oluşturmaması gibi nedenlerle organik fındık tarımının teşvik edilmesi faydalı olacaktır.

THE EFFECT OF DIFFERENT CULTIVATION METHODS ON HEAVY METAL, HMF AND ACRYLAMIDE LEVELS OF NATURAL AND ROASTED HAZELNUTS

Keywords

*Toxic Metal,
Hydroxymethyl Furfural,
Heat Treatment Contaminant,
Food Safety,
Organic Hazelnuts.*

Abstract

In this study, it was aimed to compare the heavy metal, hydroxymethyl-furfural (HMF) and acrylamide levels of organic hazelnuts, and hazelnuts grown under conventional conditions. According to the results of the study, it was detected that 9 of the 16 metals were affected by the production method. It was observed that organic samples were less contaminated with the exception of strontium, among which differences were detected. Aluminum, cobalt, nickel, rubidium, barium and mercury concentrations of organic samples were found to be 3.96, 3.19, 1.47, 3.65, 2.51 and 2 times lower, respectively, than the conventional ones, and no lead, cesium, cadmium was detected in organic hazelnuts. It was determined that the total heavy metal concentration was more than twice that of organics (18.79 mg kg⁻¹) in conventional samples (38.84 mg kg⁻¹). While HMF was not detected in natural samples, it was found to vary between 3.32-7.58 mg kg⁻¹ in roasted organic hazelnuts and 2.59-8.94 mg kg⁻¹ in conventional ones. However, there was no consistent effect of the production method. Acrylamide could not be detected in any sample examined. As a result, it has been seen that the toxic contaminant loads of organic and conventional hazelnuts examined are below the recommended and legal limits, therefore they do not constitute a food safety risk. However, it would be beneficial to encourage organic hazelnut farming because it contains less metal, does not constitute a threat to environmental pollution and producer health.

Alıntı / Cite

Karaosmanoğlu, H., (2023). Farklı Yetiştirme Yöntemlerinin Natürel ve Kavrulmuş Fındıkların Ağır Metal, Hmf ve Akrilamid Düzeylerine Etkisi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(4), 1529-1538.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

H. Karaosmanoğlu, 0000-0002-4652-9861

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	11.08.2023
Revizyon Tarihi / Revision Date	27.10.2023
Kabul Tarihi / Accepted Date	21.11.2023
Yayın Tarihi / Published Date	30.12.2023

* İlgili yazar / Corresponding Author: hasan.karaosmanoglu@giresun.edu.tr, +90-454-310-1500

THE EFFECT OF DIFFERENT CULTIVATION METHODS ON HEAVY METAL, HMF AND ACRYLAMIDE LEVELS OF NATURAL AND ROASTED HAZELNUTS

Hasan KARAOŞMANOĞLU[†]

¹Giresun University, Technical Vocational School, Hazelnut Expertise Programme Giresun/Turkey

Highlights

- Two times more toxic metals than organics were detected in conventional hazelnuts
 - There was no significant difference between organic and conventional hazelnuts in terms of HMF formation
 - Acrylamide formation was not observed in any of the samples as a result of roasting
-

Purpose and Scope

This study was carried out to determine the toxic metal, HMF and acrylamide levels of Tombul hazelnuts produced and roasted by organic and conventional methods.

Design/methodology/approach

In this study, 16 different toxic metal levels of natural (not heat-treated) organic and conventional Tombul hazelnut cultivar were determined by ICP-MS device. Afterwards, HMF formation in the samples was monitored by HPLC device and acrylamide formation was monitored by LC/MS device under 8 different heat treatment conditions.

Findings

It was observed that the production method had a significant effect on 9 out of 16 different metals examined. It was observed that organic samples were less or not contaminated at all (aluminum, cobalt, nickel, rubidium, cadmium, cesium, barium, lead), except for strontium. It was observed that the total heavy metal concentration of the organic samples was 2 times lower than the conventional ones. While no HMF formation was observed in natural samples, an increase in concentration was detected with an increase in temperature and time. However, there was no consistent effect of production methods. Acrylamide formation was not detected in any sample.

Practical implications

According to the results of the research, although it was seen that organic hazelnuts contain much less toxic metals, all samples were found to be within the safe limit. On the other hand, no significant difference was observed between organic and conventional hazelnuts in terms of HMF and acrylamide formation. Therefore, it can be recommended to process organic hazelnuts under heat treatment conditions similar to conventional hazelnuts.

Originality

In recent years, there has been an increase in the demand for organic foods due to the fact that consumers think that they are healthier and more nutritious. On the other hand, due to the fact that organic and conventional production methods can affect the chemical composition of foods, their sensitivity to heat treatment may change. This study is an original research in terms of examining the toxic metal, HMF and acrylamide levels of organic and conventional Tombul hazelnut cultivar.

1. Giriş (Introduction)

Betulaceae familyasında yer alan fındık, hoş tadı, besin maddeleri, tekli ve çoklu doymamış yağ asitleri, fitosterol, tokoferol gibi yağda çözünen biyoaktif maddeleri ve polifenollerini nedeniyle dünya çapında en popüler kuruyemişlerden biridir (Karaosmanoğlu ve Üstün, 2019). Koroner kalp hastalığı riskini azaltmak için EFSA (European Food Safety Authority) fındığında içinde bulunduğu kuruyemişlerin günlük 32.5 g tüketilmesini önermektedir (EFSA, 2011). Fındık cevizle birlikte Avrupa'daki sert kabuklu meyve üretiminin yaklaşık %60'ını oluşturmaktadır (Pycia vd., 2019). Dünya fındık üretiminin %62'sini gerçekleştiren Türkiye, en değerli yabani türlerin doğal yayılımının ve kültür çeşitlerinin kaynağının bulunduğu, fındığın anavatanı ve en önemli üreticisi konumundadır. Üretim miktarı bakımından en önemli ülke olan Türkiye'yi sırasıyla İtalya (%13), ABD (%6), Azerbaycan (%4), Gürcistan (%3) Şili (%3) ve Çin (%2) takip etmekte, ayrıca İspanya, İran, Polonya ve Fransa gibi ülkelerde de yetiştirilmektedir (Tunç Dede, 2019; FAO, 2022).

[†] Corresponding Author: hasan.karaosmanoglu@giresun.edu.tr, +90-454-310-1500

Gıda kontaminantları gıdalara bilinçli olarak katılmamalarına rağmen gerek hammaddenin arazideki yetiştirilmesi sırasında gerekse de işleme ve depolama süreçlerinde gıdalara bulaşan ya da oluşan organik veya inorganik kimyasal maddelerdir (Tayar ve Kılıç, 2014). Tarımsal üretim esnasında gıdaya hava, toprak veya sudan bulaşabilen en önemli kontaminant grubu ağır metallerdir. Oldukça toksik oldukları bilinen ağır metaller insan vücuduna yutma, soluma, deriden absorpsiyon gibi çok farklı biçimlerde girebilmekte ve bünyede birikimi sonucunda ise kanser, kardiyovasküler hastalıklar, zeka geriliği, nörobilişsel bozukluklar, davranış bozuklukları, solunum sorunları gibi pek çok sağlık problemine yol açtığı rapor edilmiştir (Al osman vd., 2019).

Yoğun sezonda hasat edilen fındıklar ekonomik sebepler ve işleme tesislerinin sınırlı kapasiteleri nedeniyle bir yılı aşabilen sürelerde depolanmakta sonrasında da işlenmektedir. Fındık natürel olarak zarıyla birlikte tüketilmekle birlikte, daha aromatik olduğu için tüketiciler büyük oranda kavrulmuş ya da beyazlatılmış (zarsız) formu tercih etmektedirler (Şimşek, 2007). Bu nedenle kavurma fındık endüstrisinde en fazla kullanılan işleme yöntemidir. Kavurma işlemiyle, içi tamamen saran kahverengi tabaka (iç zar veya testa) olarak tanımlanan zar ayrılmaktadır (Contini vd., 2008). Ayrıca kavrulmuş fındığın kendine has rengi, tadı ve aroması oluşmakta, kimyasal kompozisyonunda değişimler meydana gelmektedir (Fallico vd., 2003). Diğer taraftan insan sağlığı için zararlı etkiye sahip hidroksi-metil furfural (HMF) ve akrilamid gibi bazı ısıl işlem kontaminantları da kavurma prosesi sonucunda oluşabilmektedir (Fallico vd., 2003; Tepe vd., 2020).

Son yıllarda, tüketicilerde beslenme ile insan sağlığı arasındaki ilişki farkındalığının artmasıyla daha sağlıklı ve güvenli gıda talebi oluşmuştur (Karaosmanoğlu, 2022). Bu talebi karşılamak için gıdanın işleme aşamasındaki gıda güvenliği sistemlerine ilave olarak üretiminde kimyasal pestisitlerin, inorganik gübrelerin ve diğer sentetik girdilerin kullanılmadığı sürdürülebilir ve çevre dostu organik tarım sistemi büyük ilgi görmeye başlamıştır (Karaosmanoğlu, 2023). Organik tarımın çıktısı olan taze ve işlenmiş organik gıdaların, tüketiciler tarafından üstün besleyici özellikleri ve non-kontamine sürdürülebilir tarım uygulamalarıyla ilişkilendirilmeleri nedeniyle bu ürünlere olan talep giderek artmaktadır (Özçelik vd., 2022; Reche vd., 2019). FIBL & IFOAM (2022) verilerine göre 2021 yılında dünyadaki organik tarım alanları 74.9 milyon hektara, organik gıda pazarı da son on yılda yaklaşık 7 kat artarak 120.6 milyar Euro'ya ulaşmıştır. Tüm organik gıdalara olduğu gibi organik fındığa olan talepte de artış söz konusudur. Artan talep karşısında organik fındık üretimi son beş yılda yaklaşık 2 kat artışla 21.500 tona ulaşmış ve bu miktar tüm fındık üretiminin yaklaşık %3.5'ine denk gelmektedir. Bu oranın tüm gıdaların ortalaması alındığında %1.5 olduğu düşünüldüğünde, organik fındığa olan talebin tüm organik gıdaların ortalamasının 2 katından fazla olduğu anlaşılmaktadır (TOB, 2021).

Literatürde organik fındıkların ağır metal içeriklerine yönelik sınırlı bilgi olmasına rağmen bu çalışmalarda konvansiyonel üretimle kıyaslama yapılmamıştır (Karcık ve Taşan, 2018). Diğer taraftan organik yetiştirme sistemleri gıdaların kimyasal kompozisyonlarını, dolayısıyla ısıl işleme olan hassasiyetlerini etkileyebilmektedir (Faller ve Fialho, 2009). Bu nedenle organik fındıklarda ısıl işlem sonucunda oluşacak gıda kontaminant konsantrasyonunun farklı olması beklenebilir ve sonuçlara göre kavurma koşullarının düzenlenmesi gerekebilir. Konvansiyonel yöntemlerle üretilen fındıkların HMF ve akrilamid içerikleri ile ilgili çalışmalar olmasına rağmen (Fallico vd., 2003; Tepe vd., 2020), organik ve konvansiyonel fındıkların HMF ve akrilamid içeriklerinin karşılaştırıldığı kapsamlı bir araştırmaya literatürde rastlanmamıştır. Bu çalışmada organik ve konvansiyonel sistemlerle yetiştirilen ve kavru lan fındıkların ağır metal, HMF ve akrilamid düzeylerinin tespit edilmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot (Material and Method)

2.1. Örnek toplama ve kavurma prosesi (Sample collection and roasting process)

Organik fındık örnekleri Giresun ili Karadere (40°52'46.91"N, 38°32'40.16"E), Yolbaşı (40°55'39.04"N, 38°36'15.70"E) ve Karakoç (40°54'58.32"N, 38°32'36.56"E) köylerindeki organik tarım sertifikasına sahip üreticilerin bahçelerinden, konvansiyonel örnekler ise organik bahçelere yakın lokasyondaki Akköy (40°51'04.44"N, 38°18'41.56"E), Seyitköy (40°51'35.42"N, 38°19'08.91"E) ve Alınca (40°52'30.59"N, 38°19'24.11"E) köylerindeki fındık bahçelerinden temin edilmiştir. Araştırma materyali olarak en önemli Türk fındık çeşidi olan Tombul fındık (Giresun Kalite) çeşidi seçilmiştir. Örnekler 2020 yılı, ağustos ayının ikinci haftasında önceden belirlenen bahçelerden, fındıkların yeşil zuruflarının sarı-kahverengine dönmesi ve nem oranının %30'un altına düşmesinden sonra dalların sallanıp fındıkların yere düşürülmesi ile yerden elle toplanmıştır. Hasattan sonra fındıklar yeşil kabuklarından ayrılmış, beton harmana serilmiş ve nem oranı %6'nın altına düşünceye kadar 3-5 gün süre ile güneşte kurumaya bırakılmıştır.

Kurutulmuş fındıkların sert kabukları fındık kıracağı ile kırılarak elle kabuklarından ayrılmış ve natürel iç fındık elde edilmiştir. Natürel fındıklar geleneksel elektrikli fırında 130 °C, 145 °C, 160 °C, 175 °C'de 15 ve 30'ar dk

olmak üzere sekiz farklı koşulda kavrulmuş ve analiz edilmiştir. Ağır metal analizi sadece ısıl işlem görmemiş natürel fındıklarda, HMF ve akrilamid analizi ise natürel ve kavrulmuş tüm örneklerde gerçekleştirilmiştir.

2.2. Metot (Method)

2.2.1. Ağır metal analizi (Heavy metal analysis)

Fındık örneklerinin makro ve mikro element kompozisyonu Ustaoglu ve Tepe (2019)'nin belirttiği yönteme göre yapılmıştır. Kısaca 0.5 g fındık mikrodalga yakma sisteminde (Milestone Start D 260, ITALY) 6 ml nitrik asit ve 2 ml hidrojen peroksit ile çözündürülmüştür. Kalıntı daha sonra deiyonize su ile 10 ml dereceli şişe içinde seyreltilmiştir. Numuneler analizden önce 0.45 mm'lik bir filtreden süzölmüştür. Kalibrasyon standartları, multi-element standarttan (Merck, Darmstadt, GERMANY) hazırlanmıştır. Örnekler ICP-MS (Agilent Technologies/7700X ICP-MS Systems, USA) cihazında üç kez analiz edilip, sonuçlar mg kg⁻¹ örnek olarak verilmiştir. ICP-MS çalışma koşulları: radyo frekansı gücü: 1550 W, taşıyıcı gaz akış hızı: 0,8 L dak⁻¹, tamamlayıcı gaz akış hızı: 0,32 L dak⁻¹, püskürtme odası sıcaklığı: 2 °C, örnekleme derinliği: 8.0 mm, ORS3 (Oktapol Reaksiyon Sistemi) helyum gazı akış hızı: 5.0 ml dk⁻¹.

2.2.2. HMF analizi (HMF analysis)

Fındık örnekleri elektrikli parçalayıcı ile öğütölmüş ve 1 g tartılmıştır. Üzerine 9 ml deiyonize su, 0.5 ml 15 g potasyum hekza siyanoferratinin 100 ml suda çözünmesiyle hazırlanan Carrez I ve 0.5 ml 30 g çinko sülfatın 100 ml suda çözünmesiyle hazırlanan Carrez II çözeltileri ilave edilip 3 dakika süreyle vortekslenmiştir. Sonrasında 7000 rpm hızda 5 dakika boyunca santrifüjleme (Biosan LMC 3000) yapılarak süpernatant ayrılmıştır. Ekstraksiyon 5 ml su ile iki kez tekrarlanıp, toplanan süpernatantlar yağın ayrılması ve berraklığın sağlanması için 4 °C sıcaklıkta 5 dakika süreyle 7000 rpm hızda santrifüj edilmiştir. Elde edilen ekstrakt 0.45 µm şırıngadan geçirilerek analiz edilmiştir (Karademir, 2013). HMF analizi diyet dizini dedektör (DAD) ile donatılmış HPLC (Agilent Technologies) cihazı ve GL, OD3-C18 kolonu (5 mm, 250X4 mm, 30 °C) ile gerçekleştirilmiştir. HPLC çalışma koşulları: mobil faz; su (%2 asetik asitte) ve metanol (90:10, v/v) karışımı, akış hızı; 0.7 ml dakika⁻¹, enjeksiyon hacmi 20 µl, dedeksiyon; 285 nm. Kalibrasyon eğrisi HMF stok çözeltisi 1.0 mg ml⁻¹ derişimde, su içerisinde hazırlanarak oluşturulmuştur. Standart çözeltiler, stok çözeltiden taze olarak 1, 5, 10, 25, 50 µg ml⁻¹ derişimlerde deiyonize su ile seyreltilerek hazırlanmıştır.

2.2.3. Akrilamid analizi (Acrylamide analysis)

Fındıklar temiz bir havanda ayrı ayrı öğütölmüş ve 1 g tartılmıştır. Üzerine 5 ml asetonitril ve 50 ppb'lik iç standart (Acrylamide-D3) eklenmiştir. 10 dakika süreyle ultrasonik su banyosunda 45°C'de tutulmuş ve 5 dakika 5000 rpm'de santrifüj edilmiştir. Berrak süpernatant vialerle aktarılarak analiz gerçekleştirilmiştir (Roach vd., 2003). Kromatografik ayırım Agilent 6460 Triple Quad LC/MS cihazı ve Zorbax Exlipse XDB C18 (4.6 x 150 mm, 5-Micron) kolon ile gerçekleştirilmiştir. LC/MS cihazı çalışma koşulları: enjeksiyon hacmi; 10 ml, akış hızı 0.3 ml dak⁻¹, mobil faz A %0.1'lik formik asit içeren ultra saf su, mobil faz B %0.1'lik formik asit içeren asetonitril. Kaynak parametreleri: gaz sıcaklığı 350 °C, gaz akışı 11 l dak⁻¹, nebulizer basıncı 45 psi, kapiler voltaj 4000 V, sheath gaz sıcaklığı 300, sheath gaz akışı 7. Örneklerin akrilamid miktarının belirlenebilmesi için kalibrasyon standartlarının yardımıyla kalibrasyon eğrisi hazırlanmıştır. Öncelikle 10 mg akrilamid standardı 100 ml saf su ile karıştırılarak stok çözelti elde edilmiştir. Stok çözeltiden 0, 1, 5, 10, 25, 50, 75 ve 100 µg l⁻¹ konsantrasyonlarda kalibrasyon standartları hazırlanarak cihaza enjekte edilmiş ve kalibrasyon eğrisi elde edilmiştir.

2.3. İstatistiksel analiz (Statistical analysis)

Çalışma üç tekerrürlü yürütölmüş ve istatistik analizler SPSS Version 17.0 istatistik yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Grupların ortalamalarını karşılaştırmak için tek yönlü ANOVA ve ardından Levene Varyansların Eşitliği Testi (P< 0.05) kullanılmış, sonuçlar ortalama ± standart sapma olarak ifade edilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma (Results and discussion)

3.1. Fındıkların ağır metal içerikleri (Heavy metal contents of hazelnuts)

Organik ve konvansiyonel fındık örneklerinin ağır metal (lityum, berilyum, alüminyum, titanyum, vanadyum, kobalt, nikel, arsenik, rubidyum, stronsiyum, kadmiyum, antimon, sezyum, baryum, civa, kurşun) konsantrasyonları Tablo 1'de özetlenmiştir. İncelenen 16 elementten lityum, berilyum, vanadyum, arsenik ve antimon hiçbir örnekte tespit edilememiştir. Üretim yöntemleri arasında titanyum ve civa miktarları yönünden

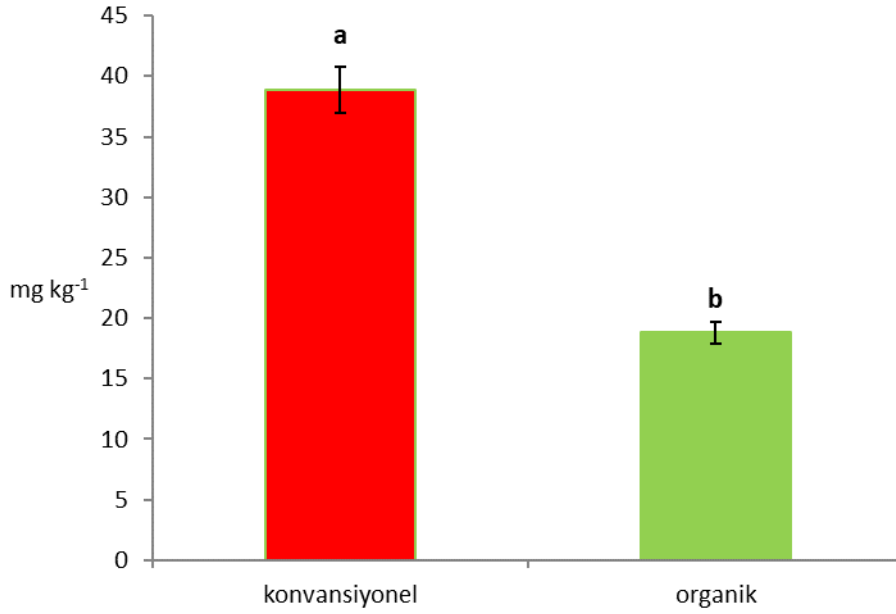
bir fark görülmemiştir ($P>0.05$). Üretim yöntemleri arasında istatistiksel farklılık tespit edilen 8 elementten stronsiyum haricindeki diğer 7 element konsantrasyonunun konvansiyonel örneklerde daha yüksek olduğu görülmüştür ($P<0.05$). Ayrıca konvansiyonellerde tespit edilmesine rağmen kadmiyum, sezyum ve kurşuna organiklerde rastlanmamıştır. Bu durum organik tarım yöntemleriyle üretimin ağır metal kontaminasyonunu düşürdüğünü gösterebilir. Konvansiyonel fındıklarda biriken metaller rubidyum > alüminyum > stronsiyum > baryum > nikel > kobalt > titanyum > sezyum > civa > kurşun > kadmiyum olarak sıralanmıştır. Bu sıralama organiklerde ise stronsiyum > rubidyum > alüminyum > baryum > nikel > kobalt > titanyum > civa şeklinde genellikle konvansiyonele benzer şekilde olmuştur. Organik fındıkların toplam ağır metal içerikleri 18.97 mg kg^{-1} , konvansiyonellerin ki ise 38.84 mg kg^{-1} olarak tespit edilmiştir (Şekil 1).

Tablo 1. Organik ve konvansiyonel yöntemlerle üretilmiş fındıkların ağır metal düzeyleri, mg kg^{-1} (Heavy metal levels of hazelnuts grown by organic and conventional methods, mg kg^{-1})

	Konvansiyonel	Organik
lityum	TED	TED
berilyum	TED	TED
alüminyum	$8.77 \pm 0.09a$	$2.21 \pm 0.76b$
titanyum	$0.15 \pm 0.08a$	$0.16 \pm 0.03a$
vanadyum	TED	TED
kobalt	$0.51 \pm 0.14a$	$0.16 \pm 0.11b$
nikel	$2.42 \pm 0.15a$	$1.64 \pm 0.46b$
arsenik	TED	TED
rubidyum	$18.56 \pm 2.04a$	$5.08 \pm 0.54b$
stronsiyum	$4.63 \pm 0.4b$	$8.04 \pm 1.30a$
kadmiyum	0.01 ± 0.01	TED
antimon	TED	TED
sezyum	0.03 ± 0.01	TED
baryum	$3.74 \pm 0.39a$	$1.49 \pm 0.62b$
civa	$0.02 \pm 0.01a$	$0.01 \pm 0.01a$
kurşun	0.02 ± 0.01	TED

Tüm değerler ortalama \pm SD ($n=3$) olarak sunulmuştur. Aynı satır içindeki farklı harfler (a-b) istatistiksel olarak anlamlı farklılıkları gösterir (Levene Varyansların Eşitliği Testi, $P<0.05$). TED: Tespit edilemedi

Analiz edilen tüm metaller arasında her iki üretim yönteminde de yüksek düzeyde tespit edilen metal olan rubidyum, konvansiyonelde organikten yaklaşık 3.6 kat daha fazla birikim göstermiştir (18.56 mg kg^{-1} , 5.08 mg kg^{-1} , konvansiyonel, organik sırasıyla). Tüm elementler içerisinde organik örneklerde (8.04 mg kg^{-1}) daha fazla tespit edilen tek element olan stronsiyum konvansiyonele (4.63 mg kg^{-1}) kıyasla 1.7 kat daha fazlaydı. Bu çalışmada ele aldığımız konvansiyonel örneklerdeki alüminyum seviyelerinin (8.77 mg kg^{-1}) organiklerin (2.21 mg kg^{-1}) 4 katı kadar fazla olması ilgi çekicidir. Cabrera vd. (2003) İspanya fındıklarının alüminyum düzeyini sonuçlarımıza uygun olarak $5.00-12.20 \text{ mg kg}^{-1}$ aralığında rapor etmiştir. Karcık ve Taşan (2018) organik fındıklarda sonuçlarımıza benzer şekilde kurşun tespit edememişler ayrıca nikel miktarlarını $0.41-3.42 \text{ mg kg}^{-1}$ aralığında rapor ederken sonuçlarımızın aksine civa rapor etmemişler ve $0.06-0.08 \text{ mg kg}^{-1}$ aralığında kadmiyum bildirmişlerdir. Cevik vd. (2009) konvansiyonel fındıklarda sonuçlarımızdan oldukça yüksek olarak nikel ($8-66 \text{ mg kg}^{-1}$) ve kurşun ($4-11 \text{ mg kg}^{-1}$) tespit etmişlerdir. Pehlivan ve Altıntaş (2020) Giresun ve Trabzon bölgesi fındıklarının nikel ve kurşun yüklerini sırasıyla $0.88-9.00 \text{ mg kg}^{-1}$ ve $0.66-6.60 \text{ mg kg}^{-1}$ aralığında rapor etmişlerdir. Leblebici ve Aksoy (2008) konvansiyonel kuruyemişlerde 2.36 mg kg^{-1} nikel, 0.31 mg kg^{-1} kobalt bildirirken oldukça yüksek miktarda kurşun (12.38 mg kg^{-1}) bildirmişlerdir. Kafaoglu (2012) konvansiyonel fındıklarda sonuçlarımızdan daha yüksek baryum (6.22 mg kg^{-1}) ve benzer kobalt (0.27 mg kg^{-1}) birikimi gerçekleştiğini gözlemlemiştir. Ideirah vd. (2021) Nijerya'da yetiştirilen çeşitli kuruyemişlerde kurşun, kadmiyum ve nikel miktarlarının izin verilen sınırların altında olduğunu yine Edem vd. (2009) incelenen kuruyemişlerde ağır metal kontaminasyonunun Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) belirlediği sınırların altında olduğunu rapor etmişlerdir.



Şekil 1. Organik ve konvansiyonel yöntemlerle üretilmiş fındıkların toplam ağır metal düzeyleri (Total heavy metal levels of hazelnuts grown by organic and conventional methods) Farklı harfler (a-b), Levene'nin varyans eşitliği testine göre yetiştirme yöntemlerinin istatistiksel farkını gösterir ($P < 0.05$)

Ağır metaller ulaşım, endüstriyel faaliyetler, fosil yakıtlar, zirai üretimde yoğun ve bilinçsiz olarak kullanılan gübre ve sentetik ilaçlar, kentleşme ve diğer beşeri faaliyetlerle farklı kaynaklardan toprak ve atmosfere geçiş yaparak çevre sorunlarına neden olmasının yanı sıra, biyolojik olarak parçalanmamaları ve bitkisel dokularda birikmeleri nedeniyle insan sağlığı için önemli bir tehlike oluşturabilmektedir (Cevik vd., 2009; Türkmen vd., 2016). Bitkisel dokularda biriken özellikle alüminyum, nikel, kurşun ve kadmiyum gibi bileşikler insan organizması için oldukça toksik bileşiklerdir (Cabreria vd., 2003). FAO/WHO Gıda Katkı Maddeleri Uzman Komitesi (JECFA, 2009) tarafından nikel (0.3 mg gün^{-1}), kurşun ($0.025 \text{ mg/hafta/kg}$ vücut ağırlığı), kadmiyum ($0.007 \text{ mg/hafta/kg}$ vücut ağırlığı) ve alüminyum (7.0 mg/hafta/kg vücut ağırlığı) için önerilen limit değerler dikkate alındığında ayrıca Türkiye'deki kişi başına fındık tüketiminin $1.25\text{-}1.50 \text{ kg}$ düzeyinde olduğu düşünüldüğünde (TMO, 2019) fındık tüketiminde riskin düşük olduğu kabul edilebilir. Ancak ağır metallerin vücuda toksik dozun çok altında girse bile vücuttan atılımının yavaş olması nedeniyle dokularda birikimi söz konusudur (Türkmen vd., 2016). Sonuçlarımıza göre konvansiyonel fındıklardaki metal kontaminasyonu alüminyum gibi bazı elementlerde 4 kata çıkmakla birlikte toplamda organik fındıklardan 2 kattan daha yüksektir. Gıdalar için ağır metal kontaminasyon kaynağı olarak görülen kimyasal pestisitler ve inorganik gübrelerin organik tarımda kullanılmalarının yasak olması, ayrıca üretimin karayolları ve sanayi tesislerine belli uzaklıkta yapılmasıyla hava kirliliği kaynaklı ağır metal kontaminasyonunun sınırlandırılması gibi nedenler üretim sistemleri arasındaki farkı açıklayabilir.

3.2. Fındıkların HMF içerikleri (HMF contents of hazelnuts)

Organik ve konvansiyonel natürel fındıkların ayrıca farklı sıcaklık ve sürelerde kavrulmuş fındıkların HMF düzeyleri Tablo 2'de sunulmuştur. Her iki üretim yönteminde de ısıl işlem görmemiş natürel fındıklarda HMF tespit edilmemiştir. Yine düşük sıcaklık ve sürede ($130 \text{ °C-}15 \text{ dk}$) HMF belirlenmemiştir. En düşük düzeyde HMF konvansiyonel fındıklarda $130 \text{ °C-}30 \text{ dk}$ (2.59 mg kg^{-1}), organiklerde ise $145 \text{ °C-}15 \text{ dk}$ (2.32 mg kg^{-1}) koşulunda belirlenmiştir. Her iki üretim yönteminde de artan sıcaklık ve süreye bağlı olarak tüm örneklerde HMF oluşumunda artış gözlemlenmiştir ($P < 0.05$). En yüksek HMF düzeyi her iki grupta da $175 \text{ °C-}30 \text{ dk}$ şartlarında tespit edilmiştir (8.94 mg kg^{-1} , 7.58 mg kg^{-1} ; konvansiyonel ve organik sırasıyla). Bulgularımızla uyumlu olarak konvansiyonel fındıklarda, Karademir (2013) 160 °C 'de 30 dk kavurma işlemiyle 8.7 mg kg^{-1} düzeyinde HMF rapor etmiştir. Benzer şekilde Fallico vd. (2003) kavrulmuş fındıklarda HMF düzeyini $2.2\text{-}8.0 \text{ mg kg}^{-1}$ düzeyinde bildirmişlerdir. Göncüoğlu Taş ve Gökmen (2017) 140 °C 'de 30 dakika süreyle kavrulmuş fındıkların HMF içeriğinin 0.9 mg kg^{-1} 'den 8.5 mg kg^{-1} 'a yükseldiğini tespit edilmiştir.

Her iki üretim sisteminde de uygulanan ısıl işlem süresinin HMF oluşumuna sıcaklık artışından daha fazla etkili olduğu gözlemlenmiştir. Örneğin konvansiyonel örneklerde sıcaklığın 15 dk süreyle 145 °C 'den 160 °C 'ye yükseltilmesiyle HMF miktarı 1.62 kat artarken, 145 °C 'de sürenin 15 dk 'dan 30 dk 'ya çıkarılması 2.05 kat artışa

neden olmuştur. Aynı koşullarda organik örneklerdeki oranlar sırasıyla 2.40 ve 2.52 olarak hesaplanmıştır. HMF tespit edilen toplam 7 farklı proses koşulunun 4'ünde organiklerde, 3'ünde ise konvansiyonel örneklerde daha yüksek oluşum gözlenmiştir. Üretim sistemlerinin genel olarak HMF düzeylerine etkisi istatistiksel olarak anlamlı olsa bile ($P<0.05$) tutarlı bir ilişki gözlenmemiştir.

Gıdaların pişirme veya kavurma gibi ısı işlemlerle veya muhafaza süresince renklerinde meydana gelen esmerleşmenin ve istenen aroma bileşikleri oluşumunun ana sebebi Maillard reaksiyonlarıdır (Yıldız vd., 2010). Maillard reaksiyonu ara ürünlerinden olan ve gıdaların kimyasal bileşimine bağlı olarak genellikle işleme aşamalarında oluşan HMF'nin (Kuşçu ve Bulantekin, 2016) olumlu (antioksidan, anti-karsinojenik, anti-hipoksik, anti-alerjik, anti-apoptotik, anti-inflamatuar, anti-mikrobiyal) olumsuz (kanserojen etki, genotoksisite, mutajenite, organotoksik ajan) olmak üzere farklı sağlık etkileri vardır ve günlük kişi başına 2-30 mg alımının sağlık açısından risk oluşturmadığı rapor edilmiştir (Choudhary vd., 2021). Ayrıca HMF gıda ürünlerinin üretiminde ısı işlem yoğunluğunun ve uygun olmayan saklama koşullarının bir göstergesi olarak kullanılır (Kuşçu ve Bulantekin, 2021). Sonuçlarımıza göre örneklerin tamamının HMF açısından risk taşımadığı söylenebilir.

Tablo 2. Organik ve konvansiyonel yöntemlerle üretilmiş ve kavurulmuş fındıkların HMF düzeyleri, mg kg⁻¹ (HMF levels of hazelnuts grown and roasted by organic and conventional methods, mg kg⁻¹)

	Konvansiyonel		Organik	
	TED		Natürel	TED
Natürel	TED		Natürel	TED
130 °C- 15 dk	TED		130 °C- 15 dk	TED
130 °C- 30 dk	2,59±0,02 Gb		130 °C- 30 dk	3,61±0,01 Fa
145 °C- 15 dk	2,79±0,01 Fa		145 °C- 15 dk	2,32±0,02 Gb
145 °C- 30 dk	5,73±0,01 Cb		145 °C- 30 dk	5,85±0,01 Da
160 °C- 15 dk	4,53±0,01 Eb		160 °C- 15 dk	5,58±0,01 Ea
160 °C- 30 dk	7,35±0,01 Ba		160 °C- 30 dk	6,22±0,01 Bb
175 °C- 15 dk	4,77±0,01 Db		175 °C- 15 dk	5,92±0,01 Ca
175 °C- 30 dk	8,94±0,01 Aa		175 °C- 30 dk	7,58±0,01 Ab

Tüm değerler ortalama \pm SD (n= 3) olarak sunulmuştur. Aynı satır içindeki farklı küçük harfler (a-b) üretim siteleri arasındaki, aynı sütundaki farklı büyük harfler (A-G) proses koşulları arasındaki istatistiksel olarak anlamlı farklılıkları gösterir (Levene Varyansların Eşitliği Testi, $P<0.05$). TED: Tespit edilemedi

3.3. Fındıkların akrilamid içerikleri (Acrylamide content of hazelnuts)

Gıdaların kavurma ve kurutma gibi ısı işlemlerle muamele edilmesiyle arzu edilen spesifik aroma ve renk maddeleri gibi Maillard reaksiyon ürünlerine ilaveten akrilamid gibi istenmeyen ısı işlem kontaminantı da meydana gelebilmektedir (Yıldız vd., 2010). Herhangi bir işlem görmemiş çiğ ve natürel gıdalarda akrilamid oluşmaması veya çok az oluşmasına karşın, karbonhidratça zengin gıdaların kızartılması ve kavurulması gibi ısı işlemlerle miktarı artmaktadır (Nizamlioğlu ve Nas, 2019; Uğur ve Şimşek 2023).

Fındık endüstrisinde tercih edilen kavurma sıcaklığın 130 °C ile 160°C olduğu düşünüldüğünde (Karaosmanoğlu, 2022a) fındıkta akrilamid oluşumu beklenebilir. Ancak çalışmamızda analiz edilen konvansiyonel ve organik örneklerin hiçbirisinde akrilamid tespit edilememiştir. Çalışmamızın aksine Tepe vd. (2020) 170 °C ve 30 dk kavurma işlemiyle fındıklarda 19 $\mu\text{g kg}^{-1}$ düzeyinde akrilamid rapor etmişler ancak daha düşük sıcaklıklarda oluşum gözlemlenmemişlerdir. Yılmaz (2018) organik ve konvansiyonel fındıkların akrilamid içeriklerini sırasıyla 7.90 ng ml⁻¹, 6.68 ng ml⁻¹ olarak bildirmiştir. Ancak çalışmada örnekler piyasa koşullarından satın alma yöntemiyle toplandığı için hangi koşullarda ısı işlem uygulandığı bildirilmemiştir.

Gıdaların akrilamid düzeylerini, gıdanın çeşidi ve ısı işlem koşullarının yanı sıra akrilamid oluşumundan sorumlu olduğu düşünülen serbest asparajin ve indirgen şeker miktarı da etkilemektedir (Nizamlioğlu ve Nas, 2019). Örneğin fındıktan çok daha fazla serbest asparajin içerdiği bildirilen bademde (Tepe vd., 2020) 24.61 ile 882.10 mg kg⁻¹ aralığında akrilamid rapor edilmiştir (Ünver, 2016). Apaydın (2021) kavurulmuş fındıkların akrilamid düzeylerinin (67.33 $\mu\text{g kg}^{-1}$) badem, kaju ve leblebiye kıyasla çok daha düşük olduğunu bildirmiştir. Fındıkların kimyasal kompozisyonlarını çeşit, toprak kompozisyonu, gübre kullanımı ve sulama gibi faktörler etkileyebilmekte (Özdemir vd., 2001) buna bağlı olarak da akrilamid öncülerinin miktarları değişebilmektedir. Literatürle olan farklılık yukarıda sıralanan faktörlere ilaveten ekstraksiyon yöntemi ve dedektör tipinden de kaynaklanıyor olabilir.

Akrilamid, Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı (IARC) ve Dünya sağlık örgütü (WHO) tarafından insanlar için potansiyel kanser yapıcılar arasında sınıflandırılmıştır (Tepe vd., 2020). WHO'a göre oral akrilamid alımı

100 mg kg⁻¹ vücut ağırlığından fazla olduğunda akut toksik etkiye sebep olurken 150 mg kg⁻¹ vücut ağırlığı üzerindeki dozlarda ölümcül olabilmektedir (FAO/WHO, 2005). Araştırma sonuçlarımıza göre natürel (çiğ) ve kavrulmuş fındıklarda akrilamid kaynaklı bir risk tespit edilmemiştir.

4. Sonuç (Conclusion)

Bu çalışmada, son yıllarda oldukça fazla talep görmeye başlayan organik fındıklarla, konvansiyonel koşullarda yetiştirilmiş fındıkların ağır metal içerikleri ve önemli ısıl işlem kontaminantları olan HMF ve akrilamid düzeylerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışma sonuçlarına göre incelenen metaller yönünden genellikle konvansiyonel örneklerin daha fazla kontamine olduğu görülmüştür. Konvansiyonel fındıkların organiklere göre yaklaşık iki kat daha fazla ağır metal içerdiği saptanmasına rağmen her iki grubunda tavsiye edilen sınırların altında kaldığı görülmüştür. Kavurma sıcaklığı ve süresinin artmasıyla organik ve konvansiyonel fındıkların her ikisinde de HMF oluşumunun arttığı ayrıca sürenin daha etkili olduğu gözlemlenmiştir. Ancak üretim sistemleri arasında tutarlı bir farklılık görülmemiştir. Hiçbir kavurma koşulunda akrilamid oluşumu tespit edilmemiştir. Sonuç olarak incelenen kontaminantlar yönünden organik ve konvansiyonel Türk fındıklarının gıda güvenliği riski taşımadığı görülmüştür. Ayrıca daha düşük düzeyde ağır metal içermesi, çevre ve üretici sağlığına duyarlı olması nedeniyle organik fındık yetiştiriciliğinin desteklenmesi faydalı olacaktır.

Teşekkür (Acknowledgement)

Bu araştırma Giresun Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Proje Ofisi (FEN-BAP-A-250221-15) tarafından finansal olarak 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)

- Al Osman, M., Yang, F. and Massey, I.Y., 2019. Exposure routes and health effects of heavy metals on children. *Biometals* 32: 563–573. <https://doi.org/10.1007/s10534-019-00193-5>
- Apaydın, H., 2021. Farklı kavurma koşullarının kuruyemişlerin fiziksel, kimyasal özelliklerine ve mineral biyoerişebilirliğine etkisi [Doktora Tezi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Cabrera, C., Lloris, F., Gimenez, R., Olalla, M. and Lopez, M.C., 2003. Mineral content in legumes and nuts: contribution to the Spanish dietary intake. *Science of the Total Environment* 308(1-3): 1-14. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(02\)00611-3](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(02)00611-3)
- Cevik, U., Celik, N., Celik, A., Damla, N. and Coskuncelebi, K., 2009. Radioactivity and heavy metal levels in hazelnut growing in the Eastern Black Sea Region of Turkey. *Food and Chemical Toxicology* 47(9): 2351-2355. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2009.06.029>
- Choudhary, A., Kumar, V., Kumar, S., Majid, I., Aggarwal, P. and Suri, S., 2021. 5-hydroxymethylfurfural (HMF) formation, occurrence and potential health concerns: recent developments. *Toxin Reviews* 40(4): 545-561. <https://doi.org/10.1080/15569543.2020.1756857>
- Contini, M., Baccelloni, S., Massantini, R. and Aneilli G. 2008. Extraction of natural antioxidants from hazelnut (*Corylus avellana* L.) shell and skin wastes by long maceration at room temperature. *Food Chemistry* 110(3): 659–669. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.02.060>
- Edem, C.A., Dosunmu, M.I. and Bassey, F.I. 2009. Determination of proximate composition, ascorbic acid and heavy metal content of African walnut (*Tetracarpidium conophorum*). *Pakistan Journal of Nutrition*,8(3): 225-226.
- EFSA, 2011. European Food Safety Authority, Scientific Opinion on the substantiation of health claims related to nuts and essential fatty acids (omega-3/omega-6) in nut oil, *EFSA Journal* 9, Article 2032. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2011.2032>
- Faller, A.L.K. and Fialho, E., 2010. Polyphenol content and antioxidant capacity in organic and conventional plant foods. *Journal of Food Composition and Analysis* 23: 561–568. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2010.01.003>
- Fallico, B., Arena, E. and Zappala, M., 2003. Roasting of hazelnuts. Role of oil in colour development and hydroxymethylfurfural formation. *Food Chemistry* 81(4): 569-573. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00497-1](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00497-1)
- FAO, 2022. Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO Statistics Division. Erişim tarihi 24 Mart 2023. www.faostat.fao.org
- FAO/WHO, 2005. Joint FAO/WHO expert committee on food additives. WHO Press.
- FIBL and IFOAM, 2022. The World of Organic Agriculture Statistics and Emerging Trend (2021) Erişim tarihi: Temmuz 3, 2022 from <https://www.organic-world.net/yearbook/yearbook-2021/pdf.html>.
- Göncüoğlu Taş, N. and Gökmen, V., 2017. Maillard reaction and caramelization during hazelnut roasting: A multiresponse kinetic study. *Food Chemistry* 221: 1911-1922. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.11.159>.

- Ideriah, T.J., Konne, J.L., Otutubuike, N.O. and Orlu, H.N., 2021. Evaluation of proximate and heavy metal concentrations in nuts and vegetable consumed in Port Harcourt Nigeria. *Journal of Research in Environmental and Earth Sciences* 7(1): 45-55.
- JECFA, 2009. Evaluations of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, <http://apps.who.int/food-additives-contaminants-jecfa-database/search.aspx>.
- Kafaoglu, B., 2012. Bazı kuruyemişlerdeki ağır metal içeriklerinin ve biyoerişilebilirliklerinin kemometrik olarak değerlendirilmesi [Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Karademir, Y., 2013. Fındığın kavrulması sırasında gerçekleşen Maillard reaksiyonuna lipit oksidasyonunun katkısı [Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Karaoşmanoğlu, H., 2023. Organik ve konvansiyonel yöntemlerle üretilen Giresun Kalite Tombul fındıklarının meyve kalitesi ile geometrik ve renk özelliklerinin belirlenmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 11(3), 916-924. <https://doi.org/10.21923/jesd.1110489>.
- Karaoşmanoğlu, H., 2022a. Effects of roasting process on color and some industrial properties of hazelnuts cultivated by organic and conventional methods. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi* 9(4): 1042-1050. <https://doi.org/10.30910/turkjans.1127842>.
- Karaoşmanoğlu, H., 2022b. Lipid characteristics, bioactive properties, and mineral content in hazelnut grown under different cultivation systems. *Journal of Food Processing and Preservation* 46: e16717. <https://doi.org/10.1111/jfpp.16717>.
- Karaoşmanoğlu, H. and Üstün, N.Ş., 2019. Variations in fatty acid composition and oxidative stability of some hazelnut (*Corylus avellana* L.) varieties stored by traditional method. *Grasas Aceites* 70(1): e288. <https://doi.org/10.3989/gya.0463181>.
- Karcık, H. ve Taşan, M., 2018. Çeşitli organik kuruyemişlerin ağır metal içeriklerinin belirlenmesi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi* 15(2): 101-111. <https://dergipark.org.tr/en/pub/jotaf/issue/37314/284923>.
- Kuşçu, A. and Bulantekin, Ö., 2016. The effects of production methods and storage on the chemical constituents of apple pekmez. *Journal of Food Science and Technology* 53: 3083-3092. <https://doi.org/10.1007/s13197-016-2281-1>.
- Kuşçu, A. and Bulantekin, Ö., 2021. Determination of phenolics, organic acids, minerals and volatile compounds of jujube (*Ziziphus jujuba miller*) jam produced by under vacuum evaporation compared with open pan method. *Journal of Food Measurement and Characterization* 15: 1127-1138. <https://doi.org/10.1007/s11694-020-00713-9>
- Leblebici, Z. ve Aksoy, A., 2008. Kayseri civarında satılan bazı kuruyemişlerin ağır metal miktarlarının karşılaştırılması. *Biyoloji Bilimleri Araştırma Dergisi* 1(1): 5-9. <https://bibad.gen.tr/index.php/bibad/article/view/9>
- Nizamlioğlu, N.M. ve Nas, S., 2019. Gıdalarda akrilamid oluşum mekanizmaları, gıdaların akrilamid içeriği ve sağlık üzerine etkileri. *Akademik Gıda* 17 (2): 232-242. <https://doi.org/10.24323/akademik-gida.613588>
- Özçelik, M. M., Duman, B. ve Özkan, G., 2022. Organik pekmezlerden jeli şeker üretimi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 10(2): 371-379. DOI: 10.21923/jesd.1005198
- Özdemir, M., Açıktur, F., Kaplan, M., Yıldız, M., Löker, M., Gürcan, T., Biringen, G., Okay, A. and Seyhan, F.G., 2001. Evaluation of new Turkish hybrid hazelnut (*Corylus avellana* L.) varieties: Fatty acid composition, α -tocopherol content, mineral composition and stability. *Food Chemistry* 73: 411-415. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(00\)00315-0](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(00)00315-0)
- Pehlivan, E. and Aslantaş, R., 2019. Detection and evaluation of some heavy metals (Cr, Ni, Pb) in hazelnut orchards located between Trabzon and Giresun. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi* 35(1): 431-442. <https://doi.org/10.17341/gazimmd.474527>
- Pycia, K., Kapusta, I. and Jaworska, G., 2019. Impact of the degree of maturity of walnuts (*Juglans regia* L.) and their variety on the antioxidant potential and the content of tocopherols and polyphenols. *Molecules* 24: 2936. <https://doi.org/10.3390/molecules24162936>
- Reche, J., Hernandez, F., Almansa, M.S., Carbonell-Barrachina, A.A., Legua, P. and Amoros, A., 2019. Effects of organic and conventional farming on the physicochemical and functional properties of jujube fruit. *LWT-Food Science and Technology* 99: 438-444. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.10.012>
- Roach, J.A., Andrzejewski, D., Gay, M.L., Nortrup, D. and Musser, S.M., 2003. Rugged LCMS/MS survey analysis for acrylamide in foods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51 (26): 7547-7554. <https://doi.org/10.1021/jf0346354>
- Şimşek, A., 2007. The use of 3D-nonlinear regression analysis in mathematics modeling of colour change in roasted hazelnuts. *Journal of Food Engineering* 78: 1361-1370. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.01.008>
- Tayar M., ve Kılıç, V., 2014. Gıda endüstrisinde hijyen ve sanitasyon. Dora Yayıncılık, Bursa.
- Tepe, Y., Çebi, A., and Aydın, H., 2020. Acrylamide content and color formation of hazelnuts roasted at different processing temperatures and times. *European Food Research and Technology* 246: 1543-1549. <https://doi.org/10.1007/s00217-020-03508-w>
- TMO, 2019. Toprak Mahsulleri Ofisi, Ulusal Fındık Çalıştayı Kitapçığı, Ordu
- TOB, 2021. Türkiye Cumhuriyeti Tarım ve Orman Bakanlığı. Erişim tarihi 10 Aralık, 2021. <https://www.tarimorman.gov.tr/Konular/Bitkisel-Uretim/Organik-Tarim/Istatistikler>
- Tunç Dede, Ö., 2019. Potential use of hazelnut processing plant wastes as a sorbent for the simultaneous removal of multi-elements from water. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 7(2): 301-312. DOI: 10.21923/jesd.486065
- Türkmen, M., Akyurt, İ., Duran, K., ve Türkmen, A., 2016. Giresun yöresinden bazı yenilebilir bitkilerde metal birikimlerinin değerlendirilmesi. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi* 6(14): 99-105. <https://dergipark.org.tr/en/pub/kfbd/issue/28023/297561>
- Uğur, S., ve Şimşek, B., 2023. Dil peynirlerinden üretilen peynir cipslerinin bazı kimyasal, tekstürel ve duyuşal özellikleri. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 11(1), 57-67. <https://doi.org/10.21923/jesd.1129110>
- Ustaoglu, F. and Tepe, Y., 2019. Water quality and sediment contamination assessment of Pazarsuyu stream, Turkey using multivariate statistical methods and pollution indicators. *International Soil and Water Conservation Research* 7: 47-56. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2018.09.001>

- Őnver, A., 2016. Effect of roasting conditions and storage on acrylamide content and colour of almonds. Akademik Gıda 14(1): 8-14. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/akademik-gida/issue/55785/763620>
- Yıldız, O., Şahin, H., Kara, M., Aliyazıcıoğlu, R., Tarhan, Ő. and Kolaylı, S., 2010. Maillard reaksiyonları ve reaksiyon őrınlerinin gıdalardaki önemi. Akademik Gıda 8(6): 44-51. <https://dergipark.org.tr/en/pub/akademik-gida/issue/55828/764759>
- Yılmaz, A.B., 2018. Organik ve konvansiyonel yöntemlerle őrtilen çeşitli kuruyemişlerin akrilamid içeriklerinin karşılaştırılması [Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ Namık Kemal Őniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].



AN EXPERIMENTAL STUDY ON DIELECTRIC PARAMETERS OF XLPE INSULATED HIGH VOLTAGE CABLES UNDER DIFFERENT OPERATING CONDITIONS

Celal Fadil KUMRU^{1*}, Celal KOCATEPE

¹ Suleyman Demirel University, Engineering Faculty, Department of Electrical-Electronics Engineering, Isparta, Türkiye

Keywords

High Voltage Cables,
Dielectric Loss,
Dielectric Loss Factor,
Energy Distribution.

Abstract

High voltage underground cables used in distribution systems provide benefits including aesthetics, reliability, low maintenance costs, and resistance to environmental factors. However, their initial installation expenses are considerably higher than overhead lines, and fault detection is quite challenging. Thus, a deep analysis of dielectric parameters is crucial. Typically, electrical specifications of high voltage underground cables provided by the manufacturer are used for nominal operating conditions. However, it is essential to acknowledge that variations in operational conditions have a discernible impact on the dielectric characteristics of cable insulation. This phenomenon results in an accelerated aging process of the insulation material and contributes to unexpected failures. Hence, it is imperative to determine dielectric parameters of cable insulation under varying operational conditions and elucidate the impact of these operational states on insulation properties. This study involved experimental determination of the dielectric parameters, including capacitance, relative dielectric constant, dielectric loss, and $\tan\delta$, for a XLPE insulated high voltage underground cable, designed for a nominal voltage of 12/20 kV. These assessments were performed under varying operating conditions, specifically for distinct voltage, temperature, and frequency. Based on the acquired findings, it is evident that the dielectric characteristics of the cable insulation exhibit substantial variations in response to alterations in voltage, temperature, and frequency, even when operating within the defined nominal limits.

XLPE İZOLELİ YÜKSEK GERİLİM KABLOLARININ FARKLI İŞLETME KOŞULLARI ALTINDA DİELEKTRİK PARAMETRELERİ ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA

Anahtar Kelimeler

Yüksek Gerilim Kabloları,
Dielektrik Kayıp,
Dielektrik Kayıp Faktörü,
Enerji Dağıtımı.

Öz

Dağıtım sistemlerinde kullanılan yüksek gerilim yer altı kabloları estetik, güvenilirlik, düşük bakım maliyetleri ve çevresel faktörlere dayanıklılık gibi avantajlar sağlar. Ancak bunların ilk kurulum maliyetleri, havai hatlara göre oldukça yüksektir ve arıza tespiti zordur. Bu nedenle dielektrik parametrelerinin derinlemesine analizi oldukça önemlidir. Yüksek gerilim yeraltı kablolarının üretici firma tarafından verilen elektriksel değerleri genellikle nominal işletme şartları için kullanılmaktadır. Ancak değişken işletme şartları, kablo yalıtımının dielektrik parametrelerini de değiştirmekte olup yalıtımın daha hızlı yaşlanmasına ve beklenmeyen arızalara neden olmaktadır. Ancak değişken işletme şartlarında, kablo yalıtımının dielektrik parametreleri de değişmekte olup, sistemin çalışmasında aksamalara ve beklenmeyen arızalara neden olabilmektedir. Bu nedenle, kablo yalıtımının dielektrik parametrelerinin farklı işletme koşulları altında belirlenmesi ve bu işletme koşullarının yalıtım üzerindeki etkilerinin ortaya konması önem arz etmektedir. Bu çalışmada, 12/20 kV nominal gerilimli, XLPE izoleli bir yüksek gerilim yeraltı kablosunun, farklı işletme koşullarındaki (gerilim, sıcaklık ve frekans) dielektrik parametreleri (kapasite, bağıl dielektrik katsayısı, dielektrik kayıp, $\tan\delta$) deneysel olarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, nominal çalışma sınırları içerisinde dahi kablo yalıtımının dielektrik özelliklerinin farklı gerilim, frekans ve sıcaklık ile önemli ölçüde değiştiği gözlemlenmiştir.

Alıntı / Cite

Kumru, C.F., Kocatepe, C (2023). An Experimental Study on Dielectric Parameters of XLPE Insulated High Voltage Cables Under Different Operating Conditions, Journal of Engineering Sciences and Design, 11(4), 1539-1553.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

C.F. Kumru, 0000-0003-4248-6355
C. Kocatepe, 0009-0004-7192-7871

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	03.11.2023
Revizyon Tarihi / Revision Date	25.11.2023
Kabul Tarihi / Accepted Date	28.11.2023
Yayın Tarihi / Published Date	30.12.2023

* İlgili yazar / Corresponding author: celalkumru@sdu.edu.tr, +90-246-211-1366

AN EXPERIMENTAL STUDY ON DIELECTRIC PARAMETERS OF XLPE INSULATED HIGH VOLTAGE CABLES UNDER DIFFERENT OPERATING CONDITIONS

Celal Fadil Kumru[†], Celal Kocatepe,

¹ Suleyman Demirel University, Engineering Faculty, Department of Electrical-Electronics Engineering, Isparta, Türkiye

Highlights

- Dielectric performance of XLPE insulated high voltage cables varies due to the operating conditions.
- Voltage magnitude and frequency, along with conductor temperature affect dielectric properties.
- It is essential to consider dielectric properties for high voltage cable operational limits.

Graphical Abstract

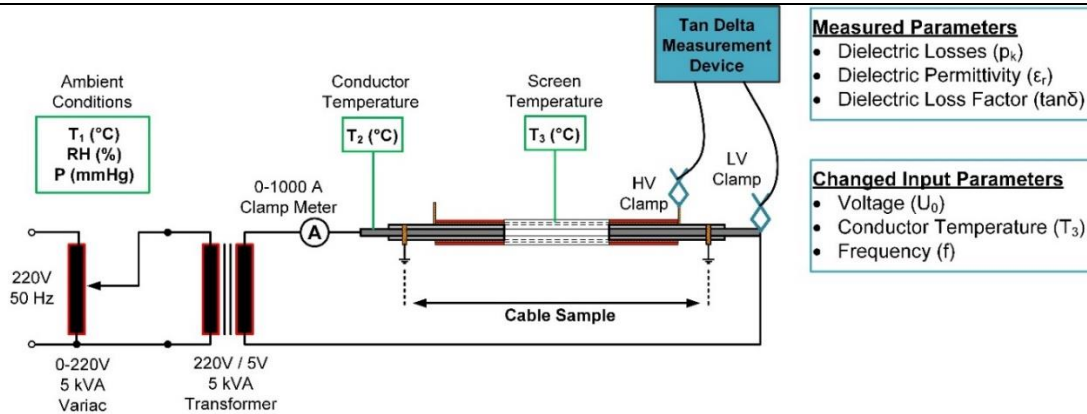


Figure. Graphical Abstract

Purpose and Scope

The objective of this study is to experimentally analyze how high voltage cables' dielectric properties change under different operating conditions. The study focuses on XLPE insulated high voltage cables and involves measurements on unaged cables in real operating conditions

Design/methodology/approach

The study investigated how dielectric properties respond to changes in voltage, temperature, and frequency. Voltage ranged from 1 kV to 12 kV, temperature from 30°C to 80°C, and frequency from 50 Hz to 400 Hz. Dielectric loss (p_k), dielectric permittivity (ϵ_r) and dielectric loss factor ($\tan\delta$) values under varying voltage, temperature and frequency were determined by measurements. CPC-100, CP-TD1 measuring device was used for different frequencies and voltages. To control the cable temperature, an electrical test setup is employed that regulates the current flowing through the conductor.

Findings

The study found that the voltage level impacts dielectric losses and the dielectric loss factor. However, it doesn't alter the cable's capacitance. Temperature and frequency adjustments influence all dielectric parameters. This suggests that the loading ratio of the cable and voltage harmonics play a crucial role in its dielectric properties more than voltage amplitude.

Practical implications

The dielectric properties of MV cables are regularly assessed while in operation. This practice enables a comparison between the dielectric quality parameters of a MV cable that has been operational for a specific duration with those of a newly manufactured MV cable. This comparison highlights that examining dielectric parameters both prior to the MV cable's operation and during its service life allows for an in-depth analysis of the cable's dielectric lifespan and capacitance.

Originality

Previous studies in the literature have typically investigated the impact of voltage, frequency, and temperature on dielectric material quality parameters individually. In contrast, this study offers a more comprehensive and thorough examination of the quality parameters of MV cables.

[†] Corresponding author: celalkumru@sdu.edu.tr, +90-246-211-1367

1. Introduction

To meet rapidly increasing energy demand, new investments and studies have been carried out in recent years (Kaplan et al., 2012). However, solving the problem of increasing energy demand has led to the emergence of problems in the accurate, reliable and efficient transmission, distribution, and delivery of energy to the consumers. As the size of the energy transported increases and alternative energy sources are connected to the network, transmission and distribution networks have become more complex. However, it is a fact that the equipment used in the power system will be exposed to different and more challenging operating conditions. Correct and reliable management of this complex network is an issue of great importance in terms of energy continuity (Wang et al., 2001; Zaengl, 2003b). One of the issues that should be emphasized in order to ensure this continuity and reliability is the correct selection of the equipment in the power system, the ability to examine their behavior under difficult operating conditions, and the ability to instantly monitor their quality performance (Chan et al., 1993; Wang et al., 2001; Werelius et al., 2012). Studying the medium voltage (MV) network and its high voltage components in the power system is crucial. The MV network is closely connected to residential areas, where electrical faults are more common (Lelak et al., 2002; Ponniran & Kamarudin, 2008). To ensure a consistent power supply in the MV distribution network, proper operation of the equipment is essential (Hampton, 2008; Peng et al., 2009; Arikan et al., 2023). In newly installed systems, high voltage equipment must pass standardized tests to operate within specific limits. However, like all systems, aging affects distribution systems (Vahedy, 2006). Consequently, regular testing and maintenance of aging equipment are necessary. Extending the electrical life of power system equipment by a few years can result in significant economic benefits for the power industry (Werelius et al., 2012). Power cables play a crucial role in transmitting energy within the MV distribution system. They are fundamental equipment for energy transportation and come with a significant investment cost. In case of a failure, these issues can result in significant financial losses for both the distribution network and consumers. (Chan et al., 1993). Hence, it is imperative to ensure the reliable operation of MV cables throughout their lifespan. The end-of-life or failure of an MV cable typically stems from deterioration, degradation, and aging of the cable's insulation material (Cookson, 1990; Malpure & Baburao, 2008; Suwarno & Salim, 2006). Several key factors contribute to the aging of MV cables, including chemical degradation, water tree formation, and exposure to electrical and thermal stress (Hvidsten et al., 1990; Malpure & Baburao, 2008; Mazzanti et al., 1997). It's essential to conduct a comprehensive analysis of these flaws and the factors affecting the cable's insulation. To this end, a variety of methods are employed today for conducting condition, performance, and quality analyses of MV cables within enterprises (Boggs & Kuang, 1998). In addition to assessing cables in active operation, it is equally important to conduct measurements and analyses on undamaged or newly manufactured cables. This enables a more comprehensive understanding of the influence of the aforementioned factors on the cable's integrity and aids in comprehending the effects of deteriorating elements. In a power system, MV cables don't always operate under nominal conditions during their service life. The cable's temperature varies due to the continuously changing electrical loads in the system. Typically, MV cables are designed to work at their nominal current capacity because of their high installation and operating expenses. However, during periods of high demand, they can be overloaded, causing the cable temperature to exceed the maximum level. Conversely, during low-demand times, the cable may carry less current than it's designed for (Mazzanti et al., 1997).

MV cables can experience changes in both temperature and voltage. When demand for electricity is low, the cable may have higher voltage than its normal level. Conversely, during high-demand periods, it might have lower voltage. Additionally, if there are irregular patterns in the voltage supply, the cable's insulation is exposed to a non-standard voltage with different frequency components [20]. Numerous studies in the literature have aimed to measure the quality of dielectric parameters in cables under different working conditions (Chmura et al., 2012; Oyegoke et al., 2003; Zaengl, 2003a). Among these parameters, the one most frequently employed is the dielectric loss factor, commonly denoted as $\tan \delta$ (Gockenbach & Hauschild, 2000; Mahalik, 1997). Measuring $\tan \delta$ in MV cables can be done using various techniques. One method involves using very low frequencies, typically in the range of 0.001Hz to 1Hz (Hou et al., 2023; Morsalin et al., 2019; Đurman & Lelák, 2010; Hernandez-mejia et al., 2009; Hernandez-Mejia et al., 2009; Hvidsten et al., 1990). However, this method takes time due to the lengthy measurement period, and low frequencies can lead to additional polarization losses in the dielectric material. Another approach is the dielectric spectrum method, which measures the dielectric loss factor at frequencies in the kHz or MHz range with low voltages (Bolivar et al., 2003; Liu et al., 2009). Although this approach offers insights into material quality, it fails to disclose how high voltage impacts the dielectric material because of the use of low test voltage. Furthermore, the higher measurement frequency compared to the grid frequency reduces polarization losses. An alternative way to measure the dielectric loss factor is by conducting measurements at the mains frequency while applying high voltage (Pascoli et al., 2008; Song et al., 2007, Arikan et al., 2022). According to the IEC 60502-2 standard, for $\tan \delta$ measurements in MV cables with specified nominal voltage values (ranging from 7.2 kV to 36 kV), the measurement voltage must be at least 2 kV. This method obtains measurements under the cable's operational voltage and frequency using the "Schering Bridge" technique. These measurement techniques are commonly employed in numerous research studies. They usually examine how the quality of cable insulation material alters as voltage changes, with consistent frequency and temperature. Typically, the voltage

levels employed in these studies are whole-number multiples of the cable's rated voltage (Pascoli et al., 2008). It's important to recognize that the amplitudes of voltage harmonics in the network can vary considerably and may not consistently align with whole numbers. Another aspect explored in these studies is how temperature affects the insulation material (Lelak et al., 2002). These studies often observe how the dielectric loss factor behaves as the temperature increases from lower values to the normal operating temperature. Temperature increases are typically done in 10°C steps, ranging from 30°C to 90 - 110°C, and the material's properties are measured at each of these temperatures.

This study involved conducting experiments in the laboratory to measure the dielectric loss, parallel equivalent capacitance, relative dielectric permittivity, and dielectric loss factor of a 12/20kV MV cable. The cable was tested under different operating conditions, including variations in voltage, temperature, and frequency. The obtained measurements were then analyzed to understand how the dielectric material of MV cable responds to changes in voltage, temperature, and frequency. The methodology part includes details about the experimental setup, cable samples used, and measurement procedures. In the results & discussion section, the results gathered from the measurements are shown and analyzed. In the conclusion section, the study's outcomes are included.

2. Methodology

In order to determine the behavior of dielectric material parameters of MV cables under different operating conditions, 12/20 kV, 1x150/25 mm², cross-linked polyethylene (XLPE) insulated, single core, aluminum conductor, copper screened cable was used as the test sample and its properties are given in Table 1.

Table 1. Technical specifications of the cable sample

Properties	Value
VDE Code	NA2XSY
Rated voltage [kV]	12 / 20
Cross-section-Conductor (Al) [mm ²]	150
Cross-section-Screen (Cu) [mm ²]	25
Diameter of conductor [mm]	6,18
DC resistance@20 ⁰ C [ohm/km]	0,206
Inductance [mH/km]	0,63
Capacitance [μF/km]	0,25
Ampacity [A]	353
Cable length [m]	11
Overall diameter [mm]	38
Operating temperature [°C]	90
Short circuit temperature (max. 5 second) [°C]	250
Cable Condition	Unaged

The experimental arrangement depicted in Figure 1 was established to assess the dielectric properties of the cable sample utilized in this investigation across various voltages, temperatures, and frequencies.

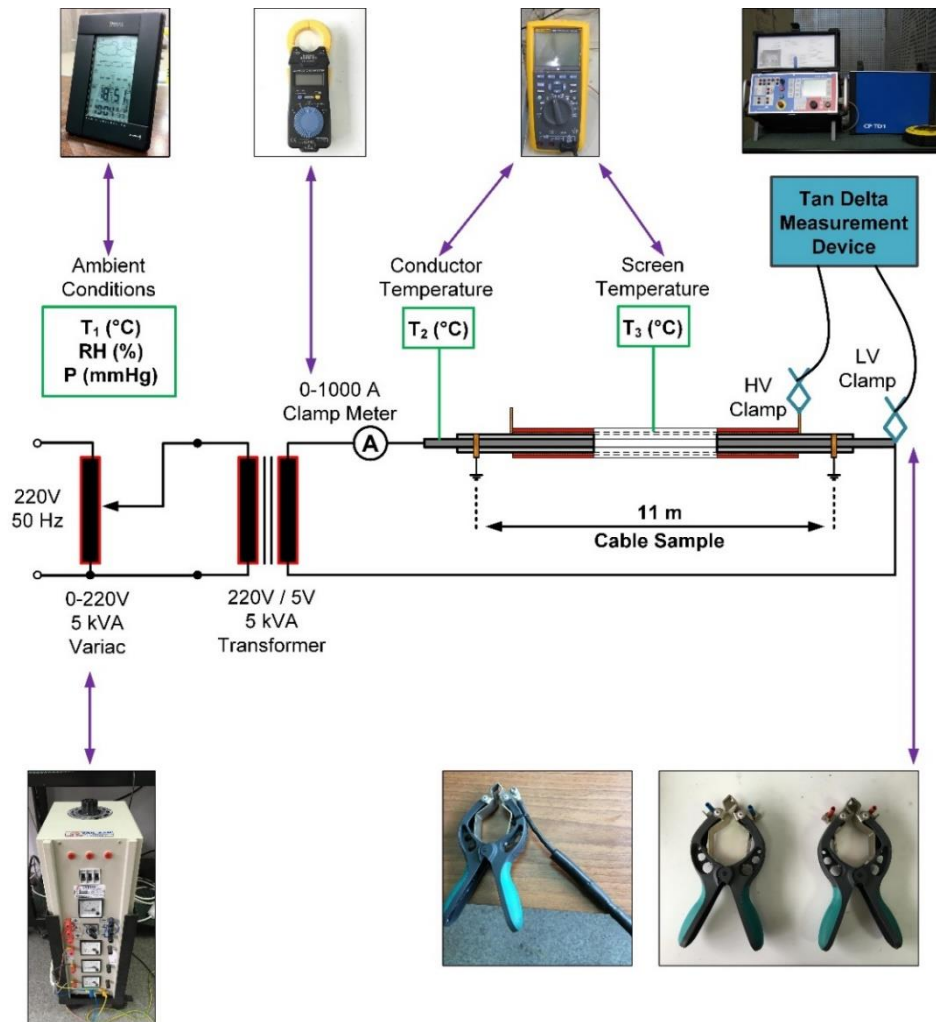


Figure 1. The experimental test arrangement employed in the study

To measure the cable's temperature, thermocouples are positioned at specific points. In this study, two temperature measurements were taken on the cable. The first was at the cable's conductor where it connected to the secondary winding output of the transformer, and the second was at the screen's temperature in the cable's midpoint. The screen temperature in the middle of the cable was chosen as the reference point during the cable's heating process. This location is the least affected by temperature increases due to relatively high contact resistances at connection points. Measuring the conductor's temperature at the cable's connection point served to monitor any overheating caused by contact resistance and allowed for necessary precautions. Figure 2 illustrates a sample variation in the temperature from the midpoint of the cable as it was heated to 40°C.

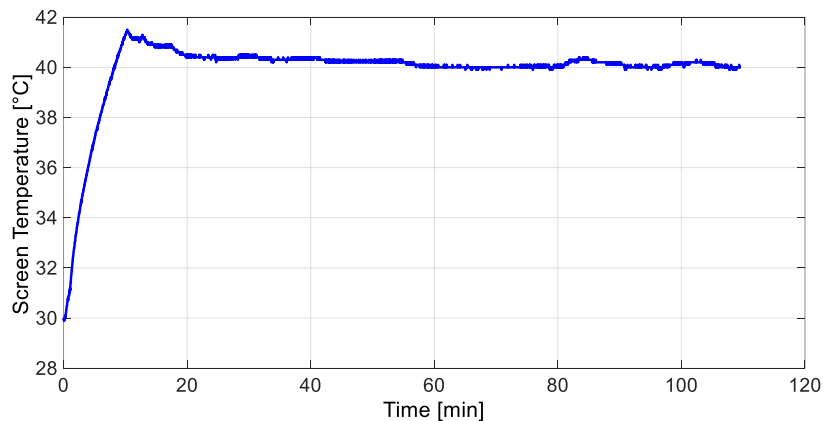


Figure 2. Variation in temperature recorded from the middle of the cable during the heating process up to 40°C

Prior to connecting the cable sample to the transformer, thermal insulation material was applied to cover the entire cable. This was done to hinder the dissipation of heat generated within the cable conductor as a result of

losses associated with current flow. Consequently, this approach diminishes the duration needed for the cable sample to attain the intended temperature, expediting the measurement process and conserving heat. To pass current through the cable conductor, a transformer with a primary voltage of 220 V, secondary voltage of 5 V, and a nominal power of 5 kVA was employed. The input voltage of the transformer was regulated by a variac with nominal values of 220V/0-220V and 5 kVA. By utilizing the variac, the primary voltage (V_1) of the transformer could be adjusted, consequently controlling the amplitude of the secondary voltage (V_2) in accordance with the transformer's conversion ratio. This enabled the management of current flow through the conductor. A clamp meter capable of measuring alternating currents between 0 – 1000 A was used to measure the current flowing through the conductor. The cable's temperature, which increases due to the current passing through the conductor, was measured at two distinct points: within the conductor at the cable connection point (T_2) and from the screen surface located at the midpoint of the cable (T_3). To carry out these measurements, two Fluke 289/FVF multimeters and K type thermocouples were employed. The thermocouples are capable of measuring temperatures between -40°C and 260°C with an accuracy of $\pm 1.1^{\circ}\text{C}$. Meanwhile, the multimeters provide a sensitivity of $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ and an accuracy of $\pm 1\% + 1^{\circ}\text{C}$.

T_1 temperature represents the ambient temperature within the laboratory and was measured using a laboratory type weather station. In addition to ambient temperature, measurements also included recording relative humidity and pressure values within the laboratory environment, as detailed in Table 2.

Table 2. Average values of the laboratory conditions observed during the measurement procedures

Temperature	Relative Humidity	Pressure
$25 \pm 1^{\circ}\text{C}$	%35 - 40	756 – 758 mmHg

During the measurements, there are surface currents that flow through the dielectric material from the screen to the conductor. This occurs because the dielectric material's surface possesses a particular surface resistance. To avoid these leakage currents from affecting the measurements or introducing measurement errors, copper strips were placed on the dielectric material's surface at both ends. These copper strips were connected to the ground probe of the device and brought to the same potential using a cable. This approach involves measuring only the current passing through the dielectric material, effectively isolating surface currents from the intended measurements. After the measurement setup was established, dielectric parameters of the cable insulation were measured. To carry out the measurement process, the desired temperature was achieved by passing current through the cable conductor. After reaching this temperature, it was carefully maintained for approximately three hours by continuously regulating the cable current using the variac. Following this, the cable's temperature was stabilized within a range of $\pm 1^{\circ}\text{C}$, and the dielectric properties were then measured. Table 3 presents the dielectric parameters and their corresponding measurement ranges as determined in this study.

Table 3. Dielectric parameters and their corresponding measurement ranges

Changed Parameters	Measurement Range	Measurement Steps	Measured Parameters
Voltage	1 kV – 12 kV	0,5 kV	Dielectric loss (p_k)
Frequency	50 Hz – 400 Hz	25 Hz	
Temperature	30°C - 80°C	10°C	Parallel Equivalent Capacitance (C_p)

As per the IEC 60502-2 standard, it is specified that a minimum test voltage of 2 kV should be used for measuring the dielectric loss factor (IEC 60502-2, 2014). The study's test voltage range was set to cover the relevant standard, and test voltages ranging from 1 kV to 12 kV, increasing by 0.5 kV increments, were utilized to observe the effects of higher voltage levels on the dielectric material. Measurements were conducted using the CPC-100, CP-TD1 measuring device, which allows adjustment of the output frequency from 50Hz to 400Hz in increments of 25 Hz. This range enabled observation of how the dielectric material is affected by voltage harmonics up to the eighth harmonic, as well as the fundamental component. Furthermore, a maximum test temperature of 80°C was chosen to prevent damage to the cable's insulation caused by overheating due to contact resistance between the cable conductors and the transformer, despite the nominal operating temperature of underground cables being 90°C .

3. Results and Discussion

In this section of the study, the outcomes of cable measurements and the assessments derived from these results are discussed. The measurements were aimed at revealing how the cable's dielectric material responds to different operational conditions by examining variations in voltage, temperature, and frequency.

3.1 Measurement Results Based on Test Voltage

Due to the extensive amount of measurement data, the examined ranges were restricted, and the change curve in only one case was provided to facilitate a clearer evaluation of the observed changes, especially in the ranges exhibiting similar behavior.

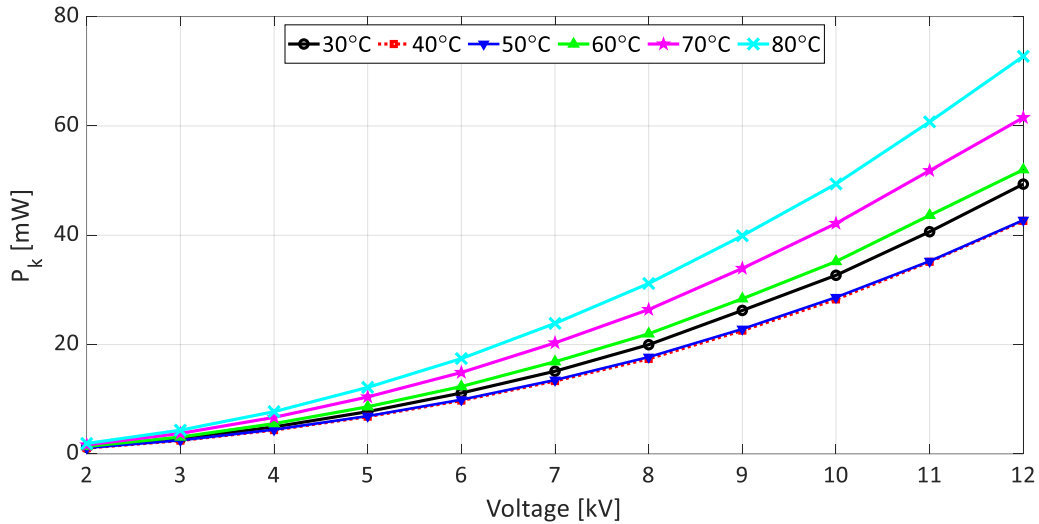


Figure 3. Voltage-dependent change of dielectric loss (p_k) at various screen temperatures ($f = 50$ Hz)

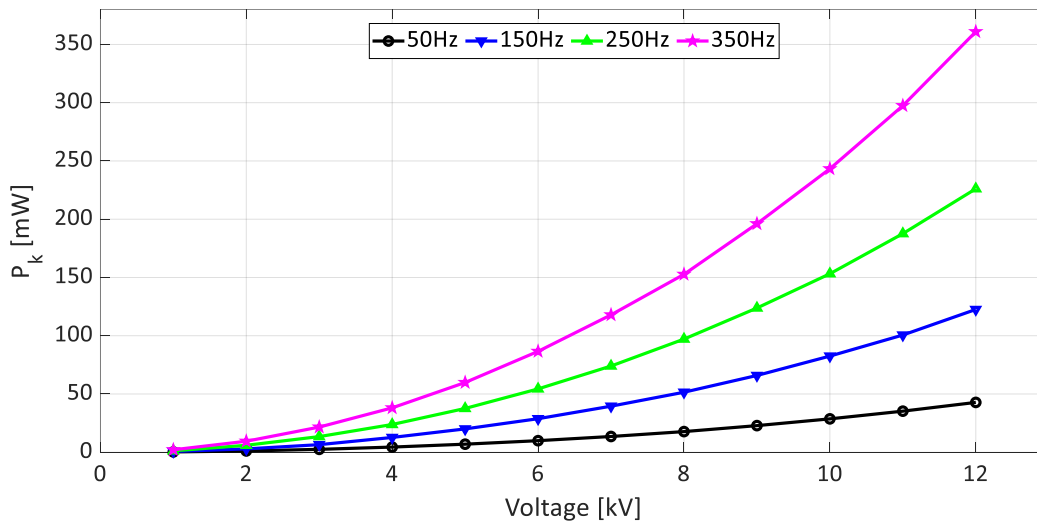


Figure 4. Voltage-dependent change of dielectric loss (p_k) at various frequencies ($T = 50^\circ\text{C}$)

Figure 3 illustrates the results of dielectric loss measurements, showing how they change as the voltage increases from 1 kV to 12 kV. These measurements were conducted at different shield temperatures (30°C, 40°C, 50°C, 60°C, 70°C, and 80°C), all at a constant frequency of 50 Hz. In general, when considering all temperatures, it's evident that dielectric losses increase quadratically as both voltage and current increase. At 12 kV nominal U_0 voltage, the lowest dielectric loss was observed at 40°C, measuring 42.64 mW. The highest dielectric loss at the same voltage level was recorded at 80°C, with a value of 72.75 mW. Figure 4 displays how dielectric losses vary with voltage at a constant cable screen temperature of 50°C, but with different frequencies. Various harmonic frequencies, including the 3rd, 5th, and 7th harmonics, were investigated. The data reveals that dielectric loss increases with rising voltage for each frequency. At U_0 (12 kV) voltage level, dielectric loss values are as follows: 42.77 mW at 50 Hz, 122.53 mW at 150 Hz, 226.13 mW at 250 Hz, and 360.92 mW at 350 Hz. When the frequency is increased by three times (150 Hz), the dielectric loss becomes 2.86 times the value at 50 Hz. When the frequency is increased by five times (250 Hz), the dielectric loss rises to 5.29 times the value, and when increased by seven times (350 Hz), the dielectric loss reaches 8.44 times. It's noticeable that this increase is not linear, as one might expect based on the series equivalent circuit of the dielectric loss factor ($\tan\delta$). These findings suggest that the dielectric material's response to changes in frequency isn't consistent with traditional series and parallel equivalent circuit models. Additionally, it appears that voltage harmonics cause additional losses inside the dielectric material.

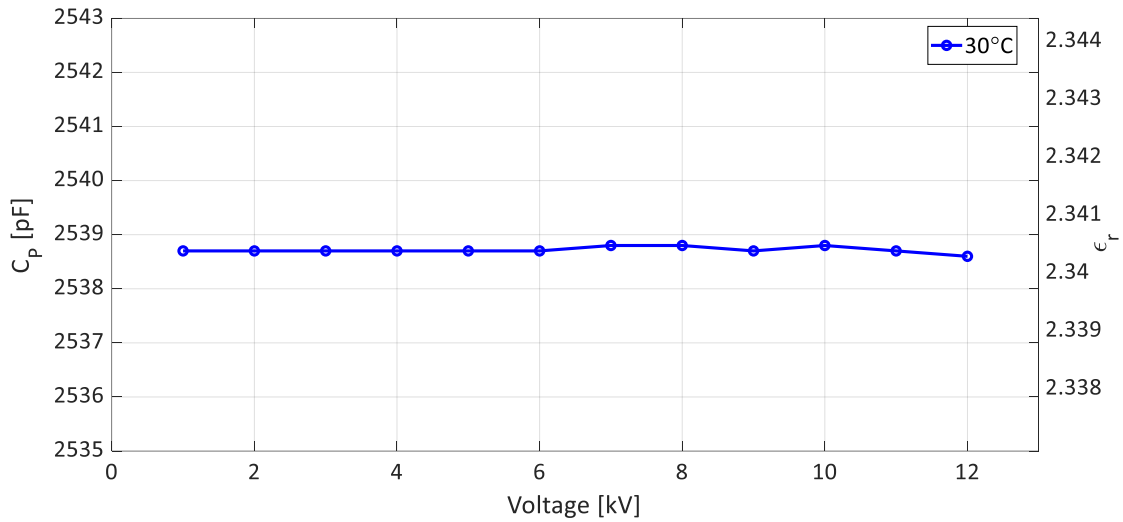


Figure 5. Voltage-dependent change of parallel equivalent capacitance (C_p) and relative dielectric permittivity (ϵ_r) at 30°C screen temperature ($f = 50$ Hz)

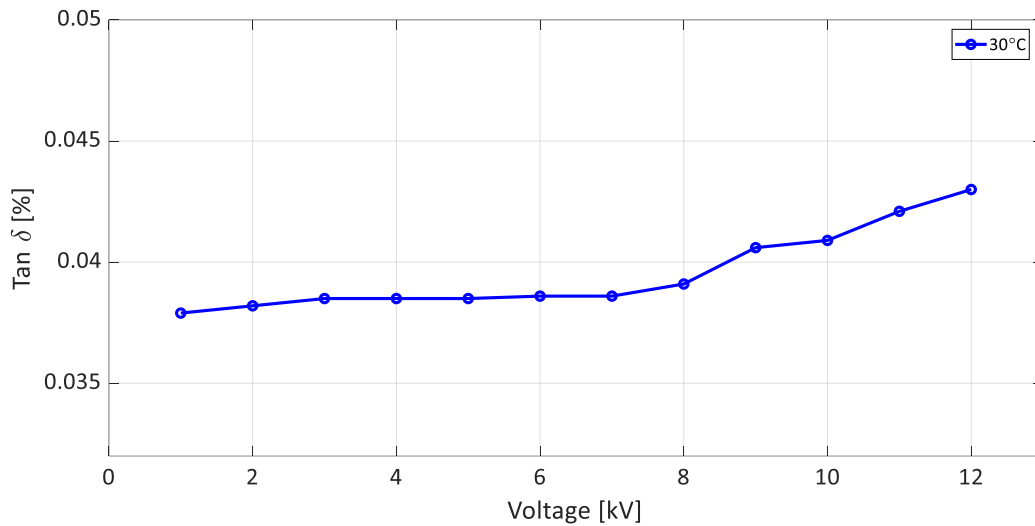


Figure 6. Voltage-dependent change of dielectric loss factor ($\tan\delta$) at 30°C screen temperature ($f = 50$ Hz)

Figure 5 presents the results of measurements performed at a constant frequency of 50 Hz and a stable screen temperature of 30°C. It illustrates the variations in parallel equivalent capacitance (C_p) and relative dielectric permittivity (ϵ_r) in response to changes in voltage. In Equation 1, there exists a fixed relationship between C_p and ϵ_r . This is why both of these measures are depicted together on the same graph. Within this equation, C_0 signifies the geometric capacity, C_p represents the capacity obtained through measurement, ϵ_0 indicates the dielectric constant of the cavity, and ϵ_{r-air} refers to the relative dielectric coefficient of the air.

$$\epsilon_r = \frac{C_p}{C_0} = \frac{C_p \cdot \ln(r_2/r_1)}{2 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_{r-air} \cdot l} \tag{1}$$

Equation 2 displays the calculated geometric capacity value for the cable under measurement.

$$C_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_{r-air} \cdot l}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 8,854 \cdot 10^{-12} \cdot 1 \cdot 11}{\ln\left(\frac{13,22}{7,52}\right)} = 1084,7 \text{ pF} \tag{2}$$

As the applied voltage increases, C_p remains approximately constant up to about 6 kV, with a value of 2538.7 pF. When voltage continues to increase up to 12 kV, the maximum increase is around 0.04%. Due to this very small rate of increase, it can be said that cable capacitance and the relative dielectric coefficient of the dielectric material do not change significantly with voltage. The reason for this lack of voltage-related change in the relative dielectric coefficient or cable capacity is the new condition of the cable used for measurements. However, if measurements were conducted on an aged cable, changes related to voltage could be observed in C_p and ϵ_r .

Figure 6 illustrates the $\tan\delta$ values measured in response to an increase in voltage (1-12 kV) at a consistent frequency (50 Hz) and temperature (30°C). The $\tan\delta$ remains approximately constant at 0.039% from 1 kV to 7 kV. However, when the measurement voltage is raised from 8 kV to 12 kV, $\tan\delta$ increases to 0.043%, indicating an 11.4% rise when the voltage goes from 7 kV to 12 kV. The equations for $\tan\delta$ in both the series and parallel equivalent circuits indicate that $\tan\delta$ is not affected by the measurement voltage. As a result, a significant increase in $\tan\delta$ due to voltage variations is not anticipated.

Nevertheless, it's established that the parameters within the equations for R_p and C_p change with voltage, leading to the observed voltage-related increase. Equation 3 introduces an alternative expression for $\tan\delta$.

$$\tan \delta = \frac{\sum p_k}{\sum Q_c} \quad (3)$$

In this context, $\tan\delta$ is described as the proportion of all active losses occurring in the dielectric material to the complete reactive power (Q_c) of the dielectric material. According to this definition, $\tan\delta$ value rises above a specific voltage level due to the appearance of polarization losses alongside the conduction losses in the dielectric material. This scenario can be clarified as follows:

$$p_k = p_c + p_p + p_i \quad (4)$$

Here, p_c represents conduction losses, p_p represents polarization losses, and p_i represents ionization losses caused by partial discharges (Kalenderli et al., 2005). At low voltage levels, the electric field within the dielectric material and, consequently, the associated polarization and ionization losses are relatively small. As a result, $\tan\delta$ remains less significant and shows minimal change up to 7 kV. However, beyond 7 kV, it becomes evident that the rise in polarization and ionization losses contributes to an increase in the $\tan\delta$ value due to the overall loss.

3.2 Measurement Results Based On Temperature

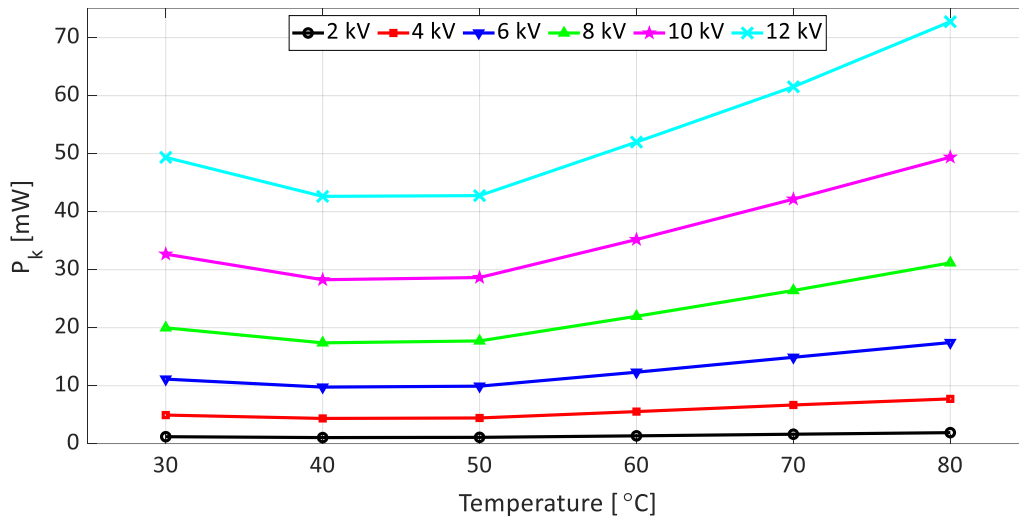


Figure 7. Temperature-dependent change of dielectric loss (p_k) at various voltages ($f = 50$ Hz)

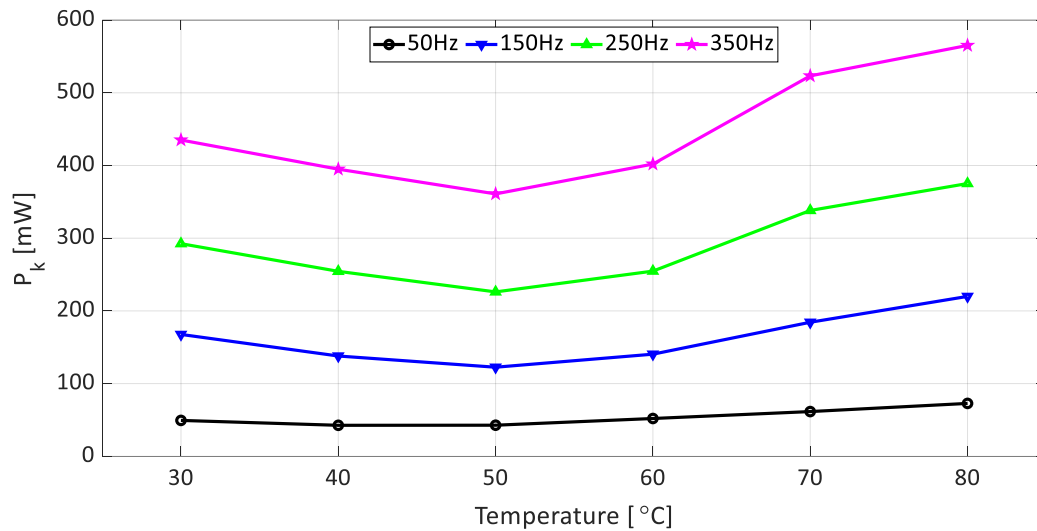


Figure 8. Temperature-dependent variation of dielectric loss (p_k) at at various frequencies ($U = 12$ kV)

The graph in Figure 7 shows how dielectric loss changes with temperature at a fixed frequency of 50 Hz for various voltage levels. The results indicate that the relationship between dielectric loss and temperature is not straightforward and doesn't follow a linear pattern. When the screen temperature increases from 30°C to 50°C, dielectric loss decreases at all voltage levels. However, as the screen temperature surpasses 50°C, the dielectric loss starts to increase. This change in dielectric loss is influenced by the electric field strength and thermal energy. At room temperature, all dielectric materials have a certain level of molecular thermal energy. This energy causes the molecules in the dielectric material to move thermally to a certain degree. When the temperature of the material rises, the thermal energy of the molecules also increases, leading to more significant thermal motion. The electric field intensity generated when voltage is applied to the dielectric material enhances this molecular movement even further, particularly compared to when the molecules remain orderly due to polarization at lower temperatures. As the voltage amplitude, and consequently the electric field intensity within the dielectric material, increases, it amplifies the dielectric losses, as demonstrated in Figure 7.

In summary, as the temperature of the dielectric material increases, ϵ_r , and the resistivity values of the dielectric material and semiconductor layers located between the conductor and screen increase. These changes affect the material's equivalent impedance and, therefore, the current value causing the losses. This shift causes losses to decrease up to a certain temperature and then start to increase. The graph in Figure 8 depicts how dielectric loss varies with screen temperature at different frequencies (50 Hz, 150 Hz, 250 Hz, and 350 Hz) while keeping the voltage constant at U_0 (12 kV). Notably, the lowest dielectric loss values for all frequency levels occur when the screen temperature is 50°C.

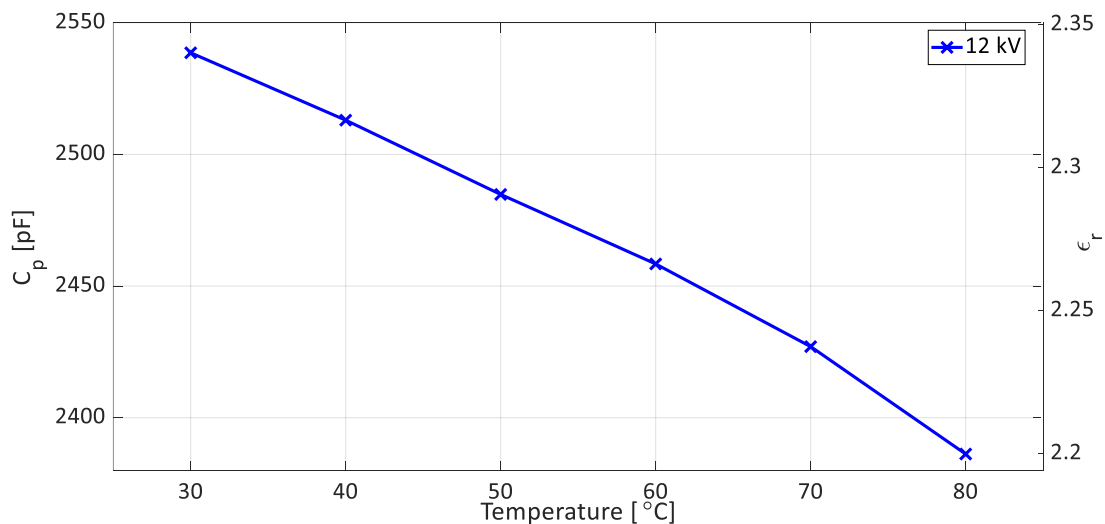


Figure 9. Temperature-dependent change of parallel equivalent capacitance (C_p) and relative dielectric permittivity (ϵ_r) at 12 kV ($f = 50$ Hz)

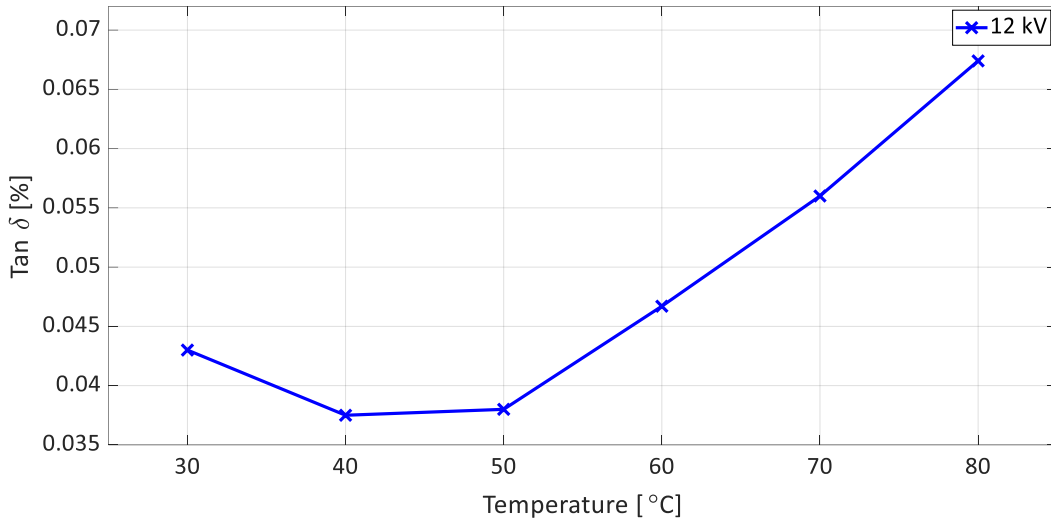


Figure 10. Temperature-dependent variation of dielectric loss factor (tanδ) at 12 kV (f = 50 Hz)

As shown in Figure 9, ϵ_r decreases as the temperature of the cable screen rises. At 30°C, ϵ_r is approximately 2.34, but it progressively decreases as the temperature increases. It drops to 2.2 at 80°C. Hence, it is clear that the material's capacitance decreases with higher temperatures, as shown in Figure 9. For instance, the cable's capacitance, which measured 2540 pF at 30°C, decreases by 6.1% to 2385 pF when the temperature is increased to 80°C. This implies that as the cable's temperature rises, its capacitive reactive power decreases.

In Figure 10, the change in tanδ is observed depending on the screen temperature. This is considered at a frequency of 50 Hz and a measurement voltage of 12 kV. The graph in the Figure 10 represents a single case, as they all exhibit very similar behavior under various frequencies and voltages, making the trend more apparent. At 30°C, tanδ is 0.043% and decreases to approximately 0.035% at around 40°C as the temperature rises. It remains relatively constant between 40°C and 50°C. However, beyond 50°C, tanδ of the cable insulation rises quickly.

This change is attributed to the fact that temperature variation has a more substantial impact on active power losses compared to reactive power. Since tanδ quantifies the ratio of active losses occurring within the dielectric material to its capacitive reactive power based on material capacity, it's reasonable to assume that active power losses follow a similar pattern with temperature. In essence, the temperature of the insulation layer significantly affects and dominates active power losses, explaining the resemblance in the patterns of p_k and tanδ concerning temperature.

3.3 Measurement Results Based On Frequency

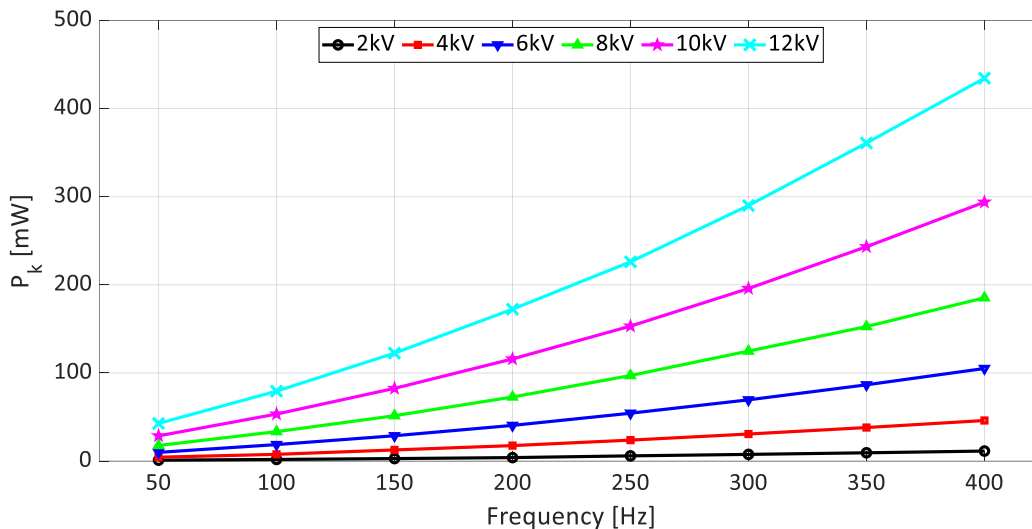


Figure 11. Frequency-dependent change of dielectric loss (p_k) at various voltages (T = 50°C)

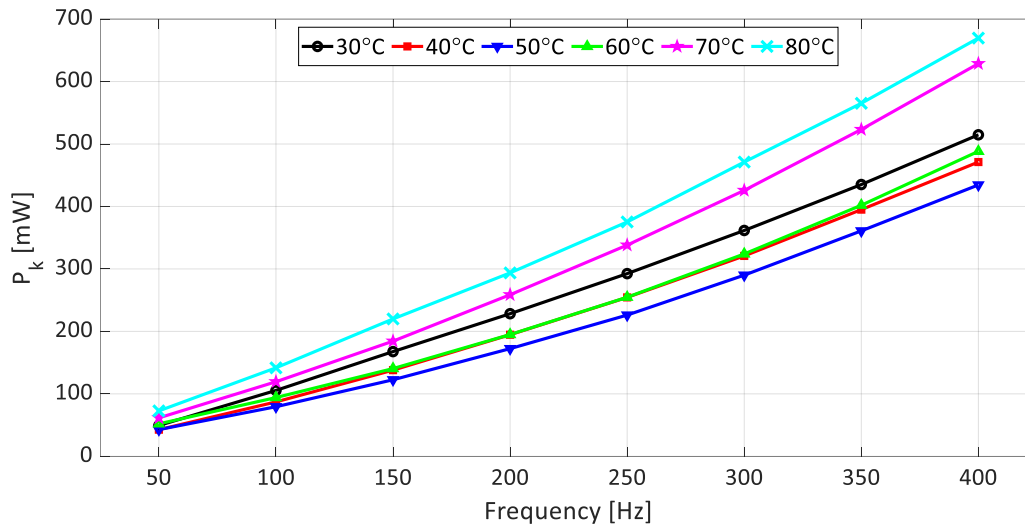


Figure 12. Frequency-dependent variation of dielectric (p_k) at various temperatures ($U= 12$ kV)

The graph in Figure 11 illustrates how dielectric loss changes with frequency when measurements are conducted at a constant temperature of 50°C with various voltage values. As previously discussed, an increase in voltage results in a quadratic increase in dielectric loss, but this time, with a constant voltage and an increasing frequency, we observe a linear growth in dielectric losses. There are two primary reasons for this nearly linear increase in dielectric losses with rising frequency:

- **Decrease in Capacitive Reactance:** With increasing frequency, the capacitive reactance of the dielectric material decreases. Consequently, the equivalent impedance of the dielectric material also decreases. As a result, when the frequency increases while maintaining a constant voltage, more current flows through the material, leading to higher dielectric loss values.
- **Polarization Losses:** At a constant voltage, as the frequency rises, polarization losses within the dielectric material also increase. As frequency increases, the atomic and molecular movements induced by the electric field intensify. However, the predominant factor contributing to this frequency-related increase in losses is conduction.

Figure 12 illustrates how dielectric loss changes with frequency at different screen temperatures. Increasing the frequency from 50 Hz to 400 Hz leads to higher dielectric losses. When measurements are made at various temperature levels, it's seen that dielectric losses increase from 30°C to 50°C. However, there is a decrease when comparing temperatures within this range (for example, the loss at 40°C compared to that at 30°C). Nonetheless, it's observed that losses increase after 50°C. The reason behind this increase in losses as frequency rises lies in the amplified current passing through the conductor - screen. Consequently, this leads to increased conduction losses within the insulator and between the inner and outer semiconductor screens. Additionally, within all these layers, frequency-dependent polarization losses also occur.

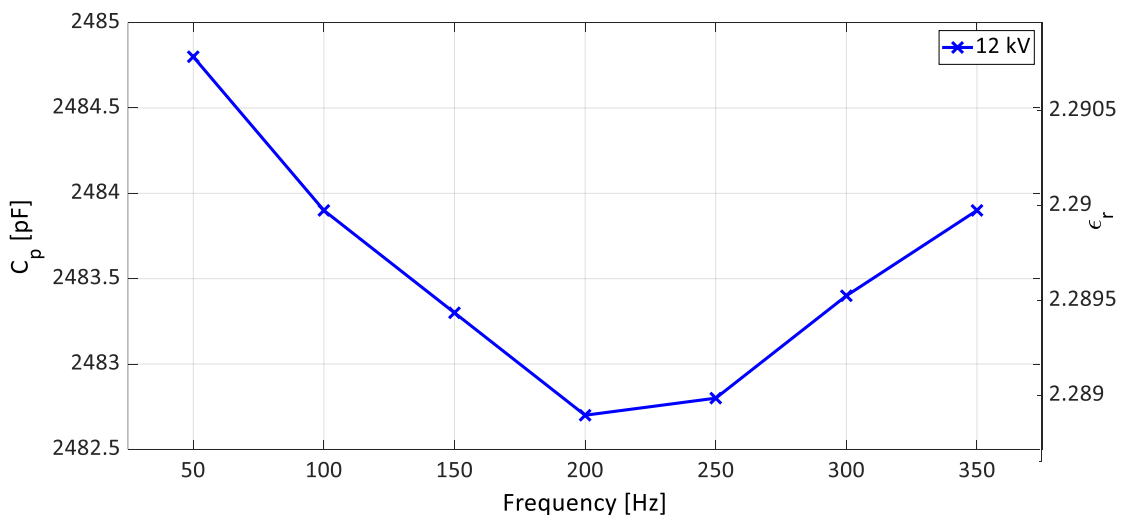


Figure 13. Frequency-dependent change of parallel equivalent capacitance (C_k) and relative dielectric permittivity (ϵ_r) at 12 kV ($T = 50^\circ\text{C}$)

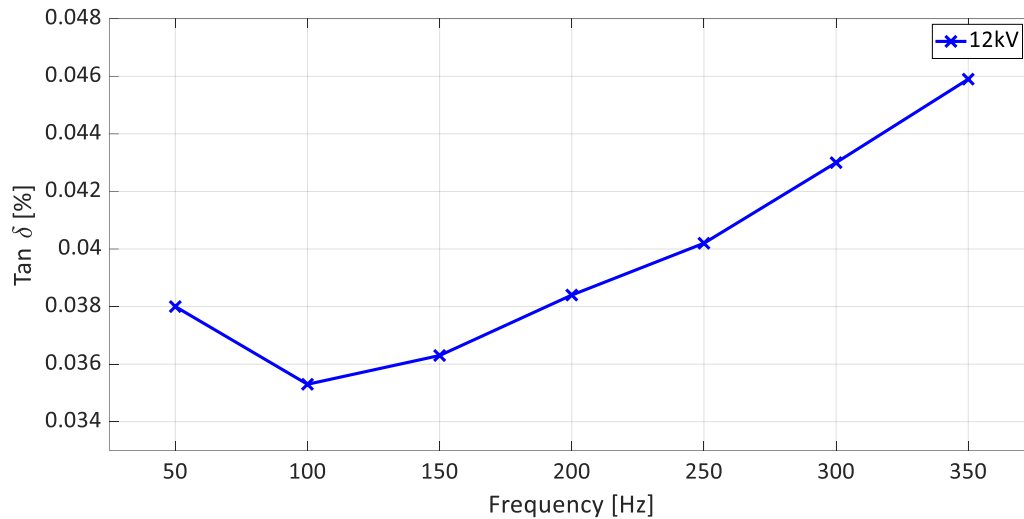


Figure 14. Frequency-dependent variation of dielectric loss factor ($\tan\delta$) at 12 kV ($T= 50^{\circ}\text{C}$)

To investigate the variation in $\tan\delta$ observed in previous measurements at specific frequencies, the shift in C_p concerning frequency was measured. In Figure 13, C_p and ϵ_r changes with frequency are demonstrated at U_0 voltage (12 kV) and a screen temperature of 50°C . At 50 Hz, material's capacitance was measured at 2484.8 pF. As the frequency was increased, the cable's capacitance decreased until it reached 200 Hz. At 200 Hz, the cable's capacitance was measured at 2482.7 pF, signifying a 0.9% reduction in cable capacitance when moving from 50 Hz to 200 Hz. However, as the frequency was increased from 200 Hz to 350 Hz, the cable capacitance increased by nearly 0.05%.

The change observed at 200 Hz is ascribed to distinct responses of polarization movements in the dielectric material at different frequencies. The relative dielectric coefficient of the dielectric material varies with shifts in both temperature and frequency. Changes in temperature have a stronger impact compared to changes in frequency, and this similarity becomes more noticeable at higher frequency ranges. When evaluating relative changes within the examined frequency range (50 Hz - 350 Hz), it can be deduced that the effect of varying voltage frequency on C_p and ϵ_r is limited.

Figure 14 displays the change in $\tan\delta$ with respect to frequency. Measurements carried out at 12 kV voltage and a screen temperature of 50°C revealed that $\tan\delta$ decreased from 0.038% to 0.035% as the frequency increased from 50 Hz to 100 Hz. Beyond 100 Hz, $\tan\delta$ exhibited nearly linear growth up to 400 Hz. When considering the overall shift, it's clear that the $\tan\delta$ parameter doesn't follow a linear trend as the frequency increases. Existing literature describes two equivalent circuit models (parallel and series) for $\tan\delta$. Compared to the parallel circuit, $\tan\delta$ increases with rising frequency, but when compared to the series circuit, it decreases. The decrease in the $\tan\delta$ up to a certain frequency, followed by an increase, indicates a different circuit structure corresponding to different frequency values.

4. Conclusion

This study aimed to understand how MV cables, used in distribution networks, behave under different conditions like voltage (ranging from 0.5 kV to 12 kV), frequency (from 50 Hz to 400 Hz), and temperature (between 30°C and 80°C). These conditions mimic what the cables could experience in real-world operation. The research discovered that increasing the applied voltage exponentially raised dielectric losses. This increase wasn't just from conduction losses but also polarization losses, particularly after around 8 kV. Similarly, the study noted an increase in $\tan\delta$ within the same voltage range, although it stabilized after about 8 kV. This indicated that increasing the voltage within this range didn't affect cable capacity or relative dielectric coefficient for fixed temperature and frequency. The study also showed that variations in voltage harmonics in MV networks affected dielectric parameters, introducing additional losses. Moreover, changing the frequency altered cable capacitance, with a noticeable reduction up to 200 Hz and a slight increase afterward. This change was due to polarization losses and losses in both inner and outer semiconductors. The research found that reactive power of MV cables could differ under various load conditions within the distribution system. This was due to changes in temperature when keeping voltage (12 kV) and frequency (50 Hz) constant. When temperatures increased from 30°C to 80°C , dielectric losses decreased from 30°C to 40°C , then increased. The most optimal working temperature range for minimizing dielectric losses was found to be between 40°C and 50°C . Improving the thermal, electrical, and

physical properties of MV cables' semiconductor and dielectric material within this temperature range could further reduce dielectric losses. Overall, the study provided valuable insights into how MV cables perform under different operational conditions, allowing for a comparison between the dielectric parameters of cables in use and newly manufactured ones. This could contribute to a more detailed analysis of MV cables' dielectric lifespan and capacitance. In the future, studies can be conducted on designing online condition monitoring systems where cable dielectric parameters can be observed, and the dielectric performance of the cable can be estimated using artificial intelligence methods.

Acknowledgement

This study was supported by Yıldız Technical University, Scientific Research Projects Coordination Office, Project No: 2012-04-02-DOP01.

Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

References

- Arikan, O., Uydur, C. C., & Kumru, C. F. (2023). Insulation evaluation of MV underground cable with partial discharge and dielectric dissipation factor measurements. *Electric Power Systems Research*, 220, 109338.
- Arikan, O., Uydur, C. C., & Kumru, C. F. (2022). Prediction of dielectric parameters of an aged MV cable: A comparison of curve fitting, decision tree and artificial neural network methods. *Electric Power Systems Research*, 208, 107892.
- Boggs, S., & Kuang, J. (1998). High field effects in solid dielectrics. *Electrical Insulation Magazine, IEEE*, 14(6), 5–12.
- Bolivar, P. H., Brucherseifer, M., Rivas, J. G., Gonzalo, R., Ederra, I., Reynolds, A. L., Holker, M., & De Maagt, P. (2003). Measurement of the dielectric constant and loss tangent of high dielectric-constant materials at terahertz frequencies. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 51(4 I), 1062–1066.
- Chan, J. C., Hartley, M. D., & Hiiivala, L. J. (1993). Performance characteristics of XLPE versus EPR as insulation for high voltage cables. *IEEE Electrical Insulation Magazine*, 9(3), 8–12.
- Chmura, L., Jin, H., Cichecki, P., Smit, J. J., Gulski, E., & Vries, F. D. (2012). Use of dissipation factor for life consumption assessment and future life modeling of oil-filled high-voltage power cables. *IEEE Electrical Insulation Magazine*, 28(1), 27–37.
- Cookson, A. H. (1990). Influence of electrical insulation on design and performance of power equipment. *IEEE Electrical Insulation Magazine*, 6(6), 7–10.
- Đurman, V., & Lešák, J. (2010). Influence of radiation on the dielectric properties of XLPE based insulation systems. *Journal of Electrical Engineering*, 61(4), 229–234.
- Gockenbach, E., & Hauschild, W. (2000). The selection of the frequency range for high-voltage on-site testing of extruded insulation cable systems. *IEEE Electrical Insulation Magazine*, 16(6), 11–16.
- Hampton, R. N. (2008). Some of the considerations for materials operating under high-voltage, direct-current stresses. *IEEE Electrical Insulation Magazine*, 24(1), 5–13.
- Hernandez-mejia, J., Harley, R., Hampton, N., & Hartlein, R. (2009). Characterization of Ageing for MV Power Cables Using Low Frequency Tan δ Diagnostic Measurements. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 16(3), 862–870.
- Hernandez-Mejia, J., Perkel, J., Harley, R., Hampton, N., & Hartlein, R. (2009). Correlation between tan δ diagnostic measurements and breakdown performance at VLF for MV XLPE cables. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 16(1), 162–170.
- International Electrotechnical Commission. (2014). IEC 60502-2: Power Cables with Extruded Insulation and Their Accessories for Rated Voltages from 1 kV (Um= 1.2 kV) up to 30 kV (Um= 36 kV), Part 2: Cables for Rated Voltages from 6 kV (Um= 7.2 kV) up to 30 kV (Um= 36 kV). International Electrotechnical Commission: Geneva, Switzerland.
- Hvidsten, S., Holmgren, B., Adeen, L., & Wetterstrom, J. (2005). Condition assessment of 12-and 24-kV XLPE cables installed during the 80s. Results from a joint Norwegian/Swedish research project. *IEEE Electrical Insulation Magazine*, 21(6), 17–23.
- Hou, Z., Shang, Y., Xu, Y., Du, M., Ju, Z., Teng, S., ... & He, W. (2023). On-site Insulation Tests for MV cable using Very Low Frequency and Damped AC Techniques. *Advances in Engineering Technology Research*, 4(1), 119–119.
- Kalenderli, Ö., Arikan, O., & Kocatepe, C. (2005). Çözümlü Problemlerle Yüksek Gerilim Tekniği. Birsen.
- Kaplan, O., Yavanoglu, U., & Issi, F. (2012). Country study on renewable energy sources in Turkey. *2012 International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA)*, 1–5.
- Lelak, J., Durman, V., Packa, J., & Olach, O. (2002, April). Diagnostics of medium voltage PVC cables by dissipation factor measurement at very low frequency. *IEEE International Symposium on Electrical Insulation*, 79–82.
- Liu, T., Fothergill, J., Dodd, S., & Nilsson, U. (2009). Influence of semicon shields on the dielectric loss of XLPE cables. *2009 IEEE Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena*, 246–249.
- Mahalik, N. P. (1997, May). A digital meter for measuring dissipation factor. *5th International Conference on Properties and Applications of Dielectric Materials*, 1129–1131.
- Malpure, B. D., & Baburao, K. (2008). Failure analysis & diagnostics of power transformer using dielectric dissipation factor. *Proceedings of 2008 International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis, CMD 2008*, 497–501.
- Mazzanti, G., Montanari, G. C., & Simoni, L. (1997). Insulation characterization in multistress conditions by accelerated life tests: An application to XLPE and EPR for high voltage cables. *IEEE Electrical Insulation Magazine*, 13, 24–34.
- Morsalin, S., & Phung, B. T. (2019). Modeling of dielectric dissipation factor measurement for XLPE cable based on Davidson-

- Cole model. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 26(3), 1018-1026.
- Oyegoke, B., Hyvonen, P., Aro, M., & Ning, G. (2003). Application of dielectric response measurement on power cable systems. *Dielectrics and Electrical Insulation, IEEE Transactions On*, 10(5), 862-873.
- Pascoli, G., Hribernik, W., & Újvári, G. (2008). *A practical investigation on the correlation between aging and the dissipation factor value of mica insulated generator windings*. 2008-2011.
- Peng, D., Yang, D., Wang, C., & Li, M. (2009). The influence of transformer oil aging to dielectric dissipation factor and its insulating lifetime. *Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference, APPEEC*, 1-4.
- Ponniran, A., & Kamarudin, M. S. (2008). Study on the performance of underground XLPE cables in service based on tan delta and capacitance measurements. *PECon 2008 - 2008 IEEE 2nd International Power and Energy Conference, PECon 08*, 39-43.
- Song, H., Gao, L., Wang, Y., & Wu, B. (2007). Development of Digital Measuring Instrument for Dielectric Loss Tangent. *8th International Conference on Electronic Measurement and Instruments, 2007. ICEMI '07.*, 1-106.
- Suwarno, S., & Salim, F. S. F. (2006). Effects of Electric Arc on The Dielectric Properties of Liquid Dielectrics. *2006 IEEE 8th International Conference on Properties & Applications of Dielectric Materials, tan 6*, 482-485.
- Vahedy, V. (2006). Polymer insulated high voltage cables. *IEEE Electrical Insulation Magazine*, 22(3), 13-18.
- Wang, P., Raghuvver, M. R., McDermid, W., & Bromley, J. C. (2001). A digital technique for the on-line measurement of dissipation factor and capacitance. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 8(2), 228-232.
- Werelius, P., Ohlen, M., & Robalino, D. M. (2012). Dielectric frequency response measurements and dissipation factor temperature dependence. *2012 IEEE International Symposium on Electrical Insulation*, 296-300.
- Zaengl, W. S. (2003a). Applications of dielectric spectroscopy in time and frequency domain for HV power equipment. *IEEE Electrical Insulation Magazine*, 19(6), 9-22.
- Zaengl, W. S. (2003b). Dielectric spectroscopy in time and frequency domain for HV power equipment. I. Theoretical considerations. *IEEE Electrical Insulation Magazine*, 19(5), 5-19.



VPAPM İLETİM YÖNTEMİNİN BER PERFORMANSI

Süleyman BÖREKOĞLU¹, Mehmet SÖNMEZ^{1*},

¹Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Osmaniye, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
VLC, VPAPM, Karartma Seviyesi.	Görünür ışık haberleşme sistemleri aynı anda hem aydınlanma hem de veri iletimi sağladığından karartma seviyesinin ayarlanması önemli görülmektedir. Karartma seviyesini ayarlamak için modülasyon tabanlı yöntemlerden birisi olan değişken darbe konum modülasyonu yöntemi tercih edilmektedir. Sinyalin görev periyodunun değiştirilmesine ek olarak analog olarak güç seviyesinin değiştirilmesi karartma seviyesini değiştiren yöntemlerden birisidir. Bu çalışmada değişken darbe genlik konum modülasyonu (VPAPM: Variable Pulse Amplitude Position Modulation) yönteminin BER (BER: Bit Error Rate) performansı alıcı-verici arasındaki mesafe dikkate alınarak incelenmiştir. BER performansının incelenmesine ek olarak, sıralı düşük veya yüksek güç yayılımının yapılması durumunda hedef karartma seviyesine göre gerçek karartma seviyesinin değişimi değerlendirilmiştir. Ayrıca, sıralı düşük veya yüksek güç seviyesinde yapılan iletimlerde elde edilen BER ile ortalama güç seviyesi için hedef karartma seviyesinde yapılan iletimlerde elde edilen BER arasında bir karşılaştırma yapılmıştır. Karşılaştırma sonuçlarına göre sıralı yüksek güç seviyesinde yapılan iletimlerde elde edilen BER performansı hedef karartma seviyesinde yapılan iletimlerde elde edilen BER performansına göre daha iyi bir sonuç veriyorken, sıralı düşük güç seviyesinde yapılan iletimlerin hedef karartma seviyesinde yapılan iletimlere göre daha düşük BER performansı verdiği görülmüştür.

BER PERFORMANCE OF VPAPM TRANSMISSION METHOD

Keywords	Abstract
VLC, VPAPM, Dimming Level.	Since visible light communication systems provide both illumination and data transmission at the same time, it is important to adjust the dimming level. In order to adjust the dimming level, the variable pulse position modulation, which is one of the modulation-based methods, is preferred. In addition to changing the duty cycle of the signal, changing the power level by using analog method is one of the methods to change the dimming level. In this work, the Bit Error Rate (BER) performance of the variable pulse amplitude position modulation (VPAPM) method has been investigated by considering the distance between the receiver and the transmitter. In addition to investigation of BER, the change of the actual dimming level according to the target dimming level was evaluated in case of sequential low or high power spread. Moreover, a comparison is achieved between the bit error rate obtained in sequential low or high power transmissions and the bit error rate obtained in transmissions at target dimming level for average power level. According to the comparison results, the bit error rate performance obtained in sequential high power transmissions gives a better result than the bit error rate performance obtained in the transmissions made at the target dimming level, while the bit error rate performance of the transmissions made at the sequential low power level is lower than the transmissions made at the target dimming level. performance has been observed.

Alıntı / Cite

Börekoğlu S., Sönmez M., (2023). VPAPM İletim Yönteminin BER Performansı, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(4), 1554-1567.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

S. Börekoğlu, 0000-0003-4933-686X
M. Sönmez, 0000-0002-6025-3734

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	26.02.2023
Revizyon Tarihi / Revision Date	21.08.2023
Kabul Tarihi / Accepted Date	28.11.2023
Yayın Tarihi / Published Date	30.12.2023

* İlgili yazar /Corresponding author: mehmetsonmez@osmaniye.edu.tr, +90-328-827-1000

BER PERFORMANCE OF VPAPM TRANSMISSION METHOD

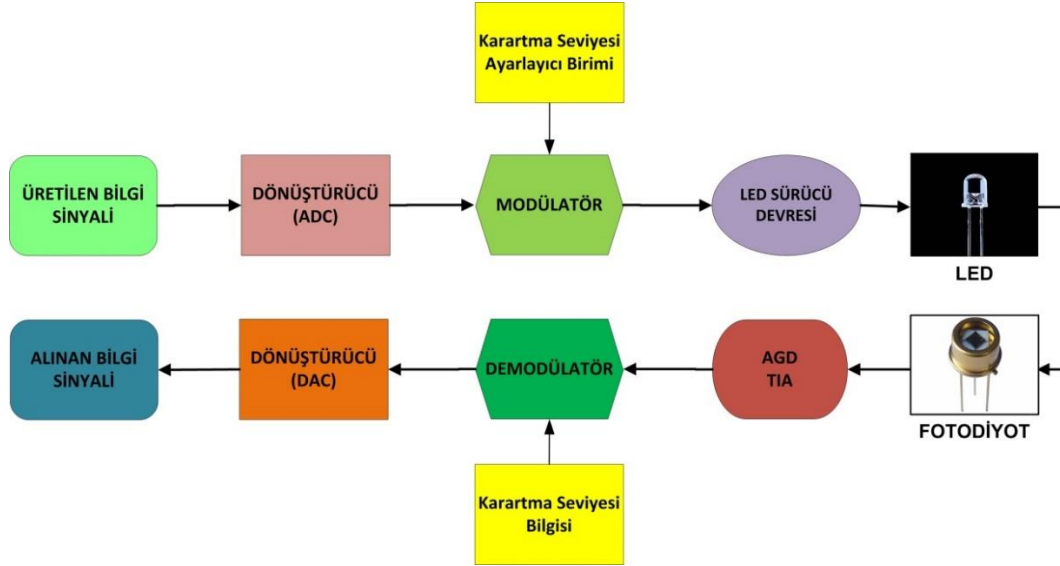
Süleyman Börekoğlu^{1,†}, Mehmet Sönmez¹

¹Osmaniye Korkut Ata University, Electrical and Electronics Engineering

Highlights

- 2-2-VPAPM and 4-2-VPAPM signals have been investigated in terms of Bit Error Rate performance.
- The comparison results are obtained in cases where the target dimming level cannot be provided due to unbalanced data bit distribution.
- It has been investigated indoor power distribution of VPAPM transmission scheme under unbalanced data bit distribution

Graphical Abstract



Şekil./Figure. Temel Bir Görünür Işık Haberleşme Sistemi (A Basic Visible Light Communication System)

Purpose and Scope

It is aim to investigate the bit error rate performance of Variable Pulse Amplitude Position Modulation (VPAPM) method. Addition to this, a comparison is achieved between the bit error rate obtained in sequential low or high power transmissions and the bit error rate obtained in transmissions at target dimming level for average power level.

Design/methodology/approach

The results have been obtained under the unbalanced power distribution. We investigate how to change the target dimming level fort his condition.

Findings

It is shown from simulation results that the bit error rate performance obtained in sequential high power transmissions gives a better result than the bit error rate performance obtained in the transmissions made at the target dimming level.

Research limitations/implications (if applicable)

It is not applicable.

Practical implications (if applicable)

It is not applicable.

Social Implications (if applicable)

It is not applicable.

Originality

We have invetigated bit error rate performance of VPAPM transmission method under the unbalanced power distrubiton. Addition to this, we investigated whether the target dimming level is provided.

[†] İlgili yazar /Corresponding author: mehmetsonmez@osmaniye.edu.tr, +90-328-827-1000

1. Giriş (Introduction)

Radyo Frekans (RF: Radio Frequency) tabanlı kablosuz haberleşme sistemleri; düşük güç tüketimi (Israr vd., 2022), geniş kapsama alanı (Shahjalal vd., 2022), çok yüksek kullanıcı desteğinin sağlanması (Chavhan, 2022) gibi birçok avantaja sahiptir. Ancak büyük veri uygulamalarındaki artış ve dijital iletişim araçlarındaki yaygınlaşma ile birlikte yüksek veri hızlarının desteklenebilmesi ve aynı anda daha fazla kullanıcıya veri paylaşımının sunulabilmesi problemleri, RF sistemler için çözülmesi beklenen sorunlar arasında görülmektedir (Stergiou ve Psannis, 2022; Shankar vd., 2021). Bu nedenle araştırmacılar, mevcut haberleşme sistemlerinin yerini alabilecek veya bu haberleşme sistemlerine destek olabilecek teknolojiler üzerine çalışmalara devam etmektedirler (Mohsan vd., 2022). Yapılan çalışmalar incelendiğinde mevcut olan sistemin yerini alabilecek yeni teknolojilerin önerilmesi ile birlikte hibrit çalışabilen sistemlerin geliştirilmesi öncelikli hedef olarak görülmektedir (Vats vd., 2022; Jarchlo vd., 2022). Bu nedenle son zamanlarda yapılan çalışmalarda araştırmacılar, RF/Optik entegrasyonuna odaklanmıştır (Mohsan vd., 2022; Vats vd., 2022; Jarchlo vd., 2022). Bu doğrultuda optik kablosuz haberleşme teknolojilerinden birisi olan ve son zamanlarda birçok araştırmacı tarafından ilgi odağı olan Görünür Işık Haberleşmesinin (VLC: Visible Light Communication), RF haberleşme ile birlikte veya bağımsız olarak yüksek veri hızlarını destekleyebilmesi beklenmektedir (Matheus vd., 2019).

I

VLC sistemleri hem aydınlanma hem de veri iletimini aynı anda kullanıcılara sunması nedeniyle, bu sistemler için karartma seviyesinin kontrolü oldukça önemlidir. Bu doğrultuda literatürde yapılan çalışmalarda VLC sistemlerinde LED karartma seviyesinin ayarlanması için birçok yöntem geliştirilmiştir (Yun vd., 2020; Guo vd., 2021; Deng vd., 2019). Yöntemlerin başında Telafi Sembolleri (CS: Compensation Symbols) yöntemi ile OOK sinyalinin uzunluğunda değişiklikler yapılarak sinyal ortalamasından hedef bir karartma seviyesinin ayarlanması amaçlanmıştır (Feng vd., 2015). CS yönteminin yanında hem analog (Genliğin doğrudan artırılması) hem de sayısal yöntemler ile (Genlik sabit, görev periyodunun değiştirilmesi) LED karartma kontrolünün sağlandığı görülmektedir (Zafar vd., 2015; Karunatilaka vd., 2015). LED'i süren akımın genliği ile karartma seviyesinin ayarlanması analog karartma yöntemi olarak adlandırılırken, akımın görev periyodu veya doluluk oranı değiştirilerek gerçekleştirilen karartma yöntemi sayısal karartma tekniği olarak tanımlanmaktadır (Zafar vd., 2015; Karunatilaka vd., 2015). Ayrıca bu yöntemleri uygulayabilmek için modülasyon tabanlı veya kodlama tabanlı teknikler literatürde önerilmiştir (Zafar vd., 2015a). Akım genliğinin değiştirilmesi ile gerçekleştirilen analog karartma yöntemleri, sürekli akım azaltma (CCR: Continuous Current Reduction) tekniği ile başarılmaktadır (Gu vd., 2006; Dyble vd., 2005). Analog karartma yöntemleri ile birlikte sayısal karartma teknikleri de literatürde yaygın olarak tercih edilen yöntemlerdir. Sayısal karartma yöntemlerinin temel amacı, LED elemanını süren akımın görev periyodunun değişiminin sağlanmasıyla sinyalin karartma seviyesinin değiştirmektir (Lee ve Park, 2011). Bu nedenle bu sayısal karartma yöntemleri darbe genişlik modülasyonu (PWM: Pulse Width Modulation) tekniği ile hibrid olarak çalışmaktadır. Sayısal karartma yöntemi kullanılarak PWM ile hibrid çalışan en temel karartılabilen iletişim yöntemleri VPPM (Variable Pulse Position Modulation: Değişken Darbe Konum Modülasyonu) ve VOOK (Variable On-Off-Keying: Değişken Aç-Kapa Anahtarlama) teknikleridir (Lee ve Park, 2011; Raj vd., 2021; Yoo ve Jung, 2013). Uygulanacak hedef karartma seviyesi, kullanılacak gerekli bant genişliğinde değişiklikler göstermekte olup, karartma seviyesine göre sistemlerin bit hata oranlarında farklılıklar oluşturmaktadır. VPPM yöntemi literatürde biraz daha geliştirilerek çok seviyeli iletim yapan M-VPPM yönteminin geliştirilmesi amaçlanmıştır (Yoo vd., 2015). Literatürde önerilen diğer bir yöntem de PAPM (Darbe Genlik Konum Modülasyonu: Pulse Amplitude Position Modulation) yöntemi olup (Yi ve Lee, 2014), bu yöntemin karartma seviyesi değişimini sağlanması için bu iletim şemasına PWM yöntemi uygulanmıştır (Wang vd., 2013). Önerilen VPAPM (Variable Pulse Amplitude and Position Modulation: Değişken Darbe Genlik ve Konum Modülasyonu) yönteminin karartma seviyesi, iletilen sinyalin farklı güç seviyelerinde üretilmesiyle ve sinyalin görev periyodunun değiştirilmesiyle sağlanmıştır. Simülasyon sonuçlarından önerilen sistemin ürettiği modülasyonlu sinyalin bant genişliğinin geleneksel VPPM sinyaline göre daha düşük olduğu görülmüştür.

Bu çalışmada dengeli olmayan hedef karartma seviyeli VPAPM sinyalleri için BER performans analizi gerçekleştirilmiştir. Bulgulara göre hedef karartma seviyesinin üzerinde iletim yapıldığında elde edilen BER performansının, hedef karartma seviyesinin altında iletim yapıldığında gözlemlenen BER performansına göre daha iyi olduğu görülmüştür.

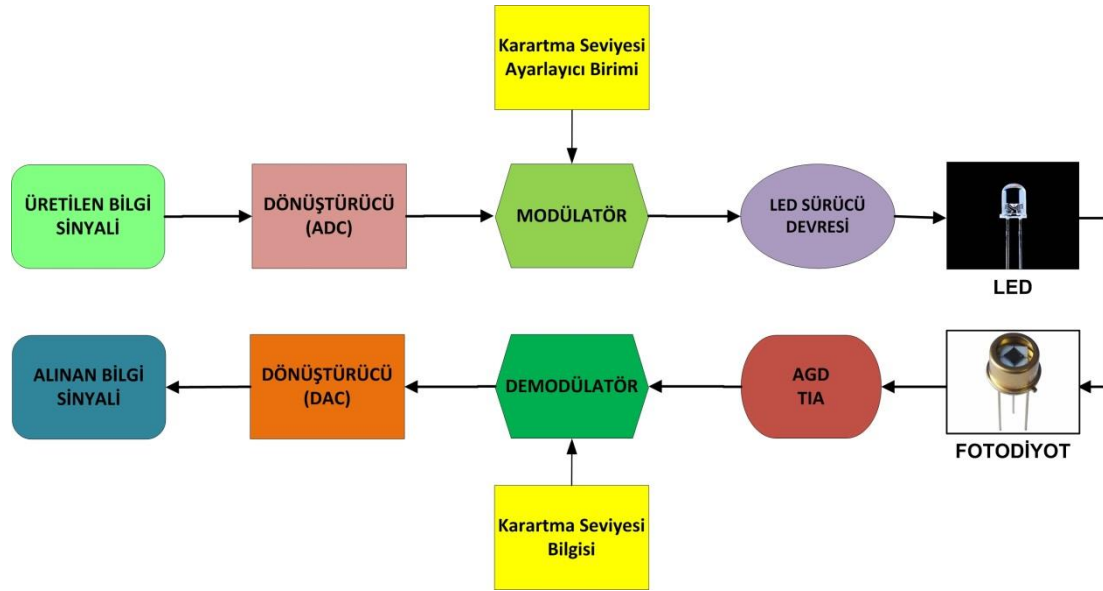
2. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

2.1. Matematiksel Model (Mathematical Model)

Görünür ışık haberleşme sistemleri temel olarak, verici tarafta bir ışık yayan diyot (LED: Light Emitting Diode) ve alıcı tarafta ışığı algılayan bir fotodiyotun kullanılmasıyla gerçekleştirilebilmektedir. Alıcı verici arasındaki mesafenin ve veri iletim oranı performansının artırılması amacıyla Lazer Diyot (Laser Diode:LD) da verici tarafta kullanılmaktadır (Zafar vd., 2017).

Temel bir VLC sistem yapısı Şekil 1’de görüldüğü gibi verici taraf modülatörden, ışık yayıcıdan (LED) ve ışık yayıcı için bir sürücü devreden oluşmaktadır. Alıcı birim ise ışık algılayıcı olarak bir optik dedektörden, akım gerilim dönüştürücüden, yükselteç ve demodülatörden oluşmaktadır. Verilen VLC sistemi Tek-girişli Tek-Çıkışlı (Single Input Single Output: SISO) bir haberleşme yapısıdır. Verilen blok diyagramda karartma seviyesi biriminden uygulanan hedef karartma seviyesine göre LED sürücü devresi karartma seviyesinin ayarlanmasını sağlamaktadır. Ayrıca modülatör bloğu çıkışından üretilen sinyal hedef karartma seviyesi bilgisine ve bilgi sinyalinin durumuna göre elde edilmektedir. Alıcıda ise optik dedektör tarafından algılanan ışık, optik dedektör çıkışında akım üreterek demodülatör devresine uygulanmaktadır. Optik dedektör şekilden de görüldüğü gibi algıladığı ışık sayesinde bir akım üretmekte ve üretilen akım bir akım-gerilim dönüştürücüsü ile demodülatör girişinde gerilim değerinin elde edilmesini sağlamaktadır. Ayrıca akım-gerilim dönüştürücü ile sinyal seviyesi kuvvetlendirilerek, dönüştürücü çıkışından kuvvetlendirilmiş sinyal elde edilmektedir.

VLC sistemlerinde kanal parametrelerinin incelenmesi oldukça büyük önem arz etmektedir. Lambertian dağılımı dikkate alınarak kanalın DC kazancı aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.



Şekil 1. Temel bir VLC sistemi (A basic VLC system)

Lambertian dağılımı, dikkate alınarak elde edilen kanalın DC kazancı alıcı ve verici arasındaki mesafenin karesi ile orantılı olarak değişmektedir. Alıcı tarafta alınan gücün değişmesindeki en önemli etkenlerden birisi olduğundan, sistemin BER performansını izleyebilmek için kullanılan bir parametredir.

$$H(0) = \begin{cases} \frac{(m+1)A_r}{2\pi D_k^2} \cos^m(\varphi) T_s(\psi) g(\psi) \cos(\psi), & 0 \leq \psi \leq \Psi_c \\ 0, & \psi > \Psi_c \end{cases} \quad (1)$$

Denklem (1)’de; m , A_r , D_k ve sırasıyla Lambertian derecesi, foto algılayıcının fiziksel alanı, alıcı-verici arasındaki mesafe ve görüş alanı genişliği olarak tanımlanmaktadır. T_s , g ve ψ değişkenleri ise sırasıyla optik filtre, yoğunlaştırıcı kazançları ve geliş açısı olarak ifade edilmektedir (Komine ve Nakagawa, 2004). Eğer iletilen güç P_t ile ifade edilirse alınan güç Denklem (2)’de verildiği gibi gösterilebilir (Wang vd., 2012).

$$P_r = H(0)P_t \quad (2)$$

Denklemden P_r alınan gücü göstermektedir. Alınan güç hesaplaması, oda içi haberleşme sistemleri için yansımalar ihmal edilerek gerçekleştirilmiştir. Diğer bir ifade ile sadece doğrudan yol düşünülerek alıcı taraftan algılanan optik güç seviyesidir. Çok yönlü yayılım için kanal dürtü yanıtı Denklem (3)’te verildiği gibi ifade edilebilir (Raj vd., 2020).

$$h(t) = \sum_{i=1}^{NLED} \left(h_i^0 + \sum_{k=1}^K h_i^k \right) \quad (3)$$

Eşitlikte $NLED$ toplam LED sayısını göstermektedir. Ayrıca yansıma olduğunu belirtmek için $K \geq 1$ şartı sağlanmalıdır (Raj vd., 2020).

Sinyal optik algılayıcı tarafından algılandıktan sonra fotodiyot tarafından bir sinyal oluşturulacaktır ve oluşturulan sinyalin ifadesi Denklem (4)'te verildiği gibi ifade edilmektedir (Wang vd., 2012).

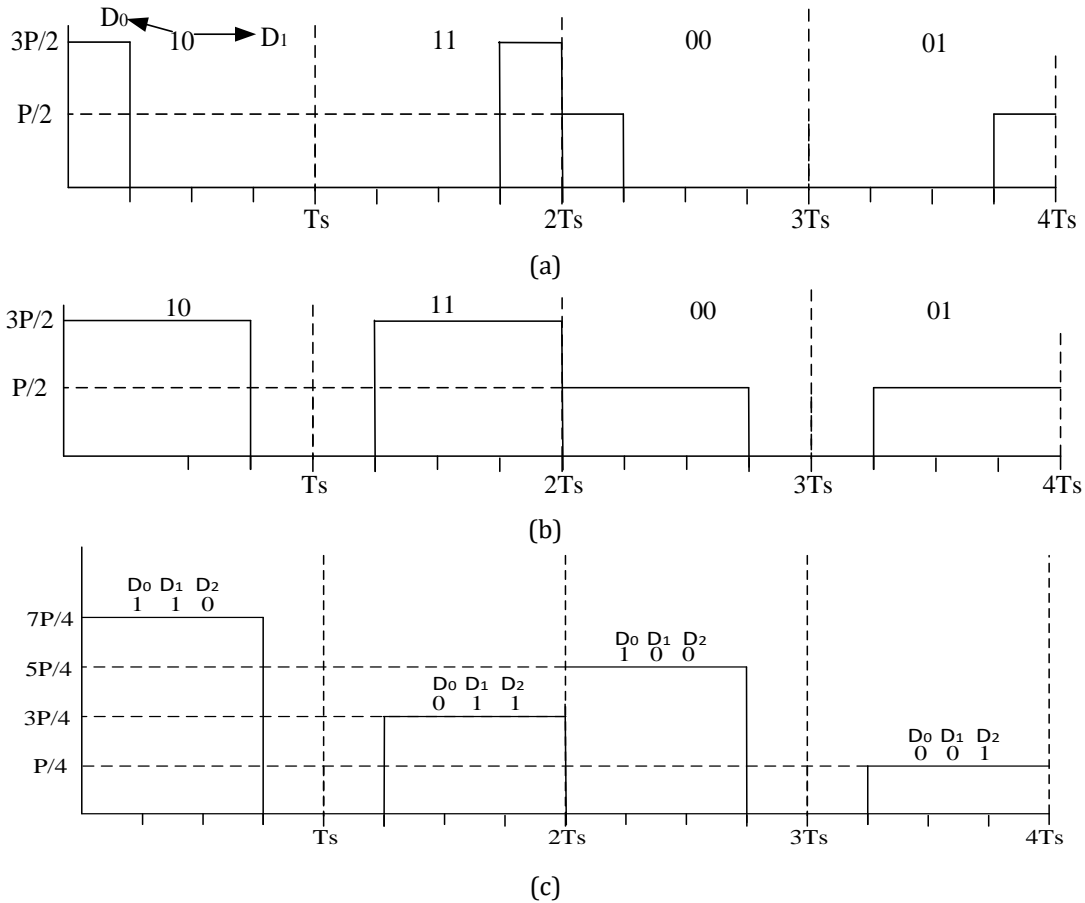
$$y(t) = RP_r M_{index} f(t) + n(t) \quad (4)$$

Denklem (4)'te M_{index} , $f(t)$ ve R sırasıyla modülasyon indeksi, normalize edilmiş modülasyon sinyali ve fotodiyot duyarlılığı olarak tanımlanmaktadır (Wang vd., 2012).

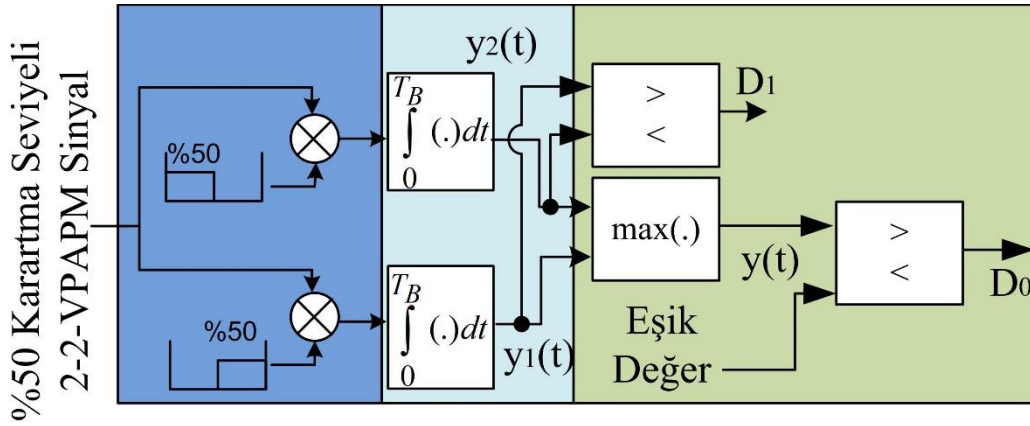
Şekil 2.a ve Şekil 2.b'de yer alan VPAPM sinyalinde D_0 biti sinyallerin güç seviyesini ifade etmektedir. D_1 biti ise sinyallerin konumunu belirtmektedir. D_1 biti 0 ise sinyal sol yuvaya konumlandırılmakta, 1 ise sinyal sağ yarım yuvada konumlandırılmaktadır. VPAPM iletim yönteminin karartma seviyesini hesaplayabilmek için öncelikli olarak Şekil 2.a görünen yüksek ve düşük seviyeli sinyallerin ortalaması alınmaktadır. Elde edilen bu ortalama değer bir periyotluk sinyalin $\frac{3}{4}$ 'ü dolu olduğu için $\frac{3}{4}$ ile çarpılması sonucu %75 karartma seviyesi olduğu düşünülmektedir (Yi ve Lee, 2014). Aşağıda verilen genel ifade şekillerdeki sinyallerin karartma seviyesini hesaplamak için kullanılabilir.

$$d = \frac{P_{Toplam}}{(M * n)P} * (\text{doluluk oranı}) \quad (5)$$

Yukarıdaki denklemde P_{toplam} olası bütün sembollerin iletimi için kullanılacak sinyallerin güçlerinin toplamıdır. $M*n$ değeri de olası sinyal sayısını vermektedir. Dolayısıyla verilen denklemden bir ortalama alınarak karartma seviyesi d değerinin hesaplanmasının gerçekleştirilebileceği görülmektedir. Ayrıca doluluk oranı da bütün sinyaller için eşit olmaktadır.



Şekil 2. M-n-VPAPM sinyalinin zamana göre değişimi a) %25 karartma seviyesi altında 2-2-VPAPM b) %75 karartma seviyesi altında 2-2-VPAPM c) %75 karartma seviyesi altında 4-2-VPAPM (The changing of M-n-VPAPM signal according to time a) 2-2-VPAPM under 25% dimming level b) a) 2-2-VPAPM under 50% dimming level c) a) 2-2-VPAPM under 75% dimming level)



Şekil 3. 2-2-VPAPM iletim şeması için bir alıcı mimarisini (A receiver architecture for the 2-2-VPAPM transmission scheme) (Börekoğlu ve Sönmez, 2022)

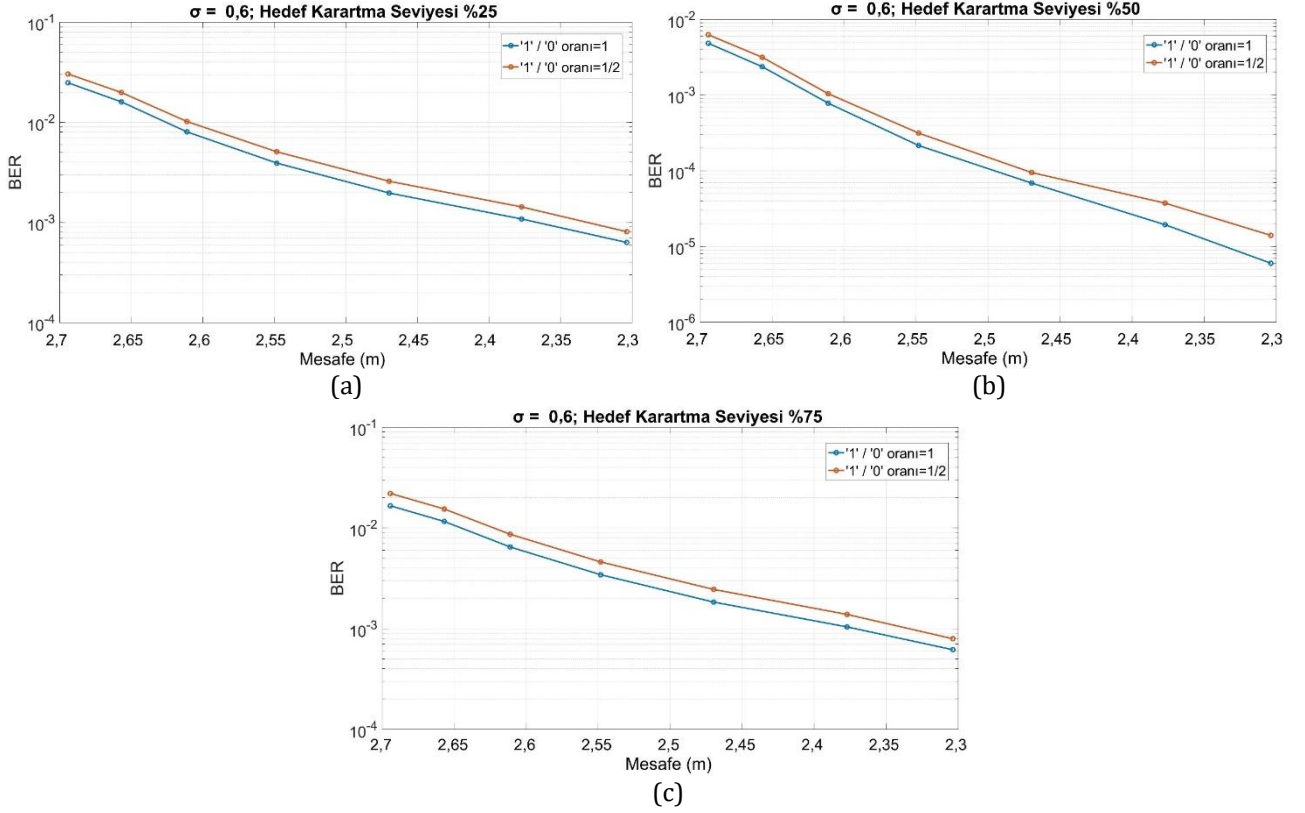
VPAPM iletim şeması için genel bir form aşağıdaki denklemden verildiği gibi ifade edilebilmektedir

$$x(t) = nAP \sum_{k=0}^{n-1} c_k p\left(t - \frac{kT}{n}\right) \quad (6)$$

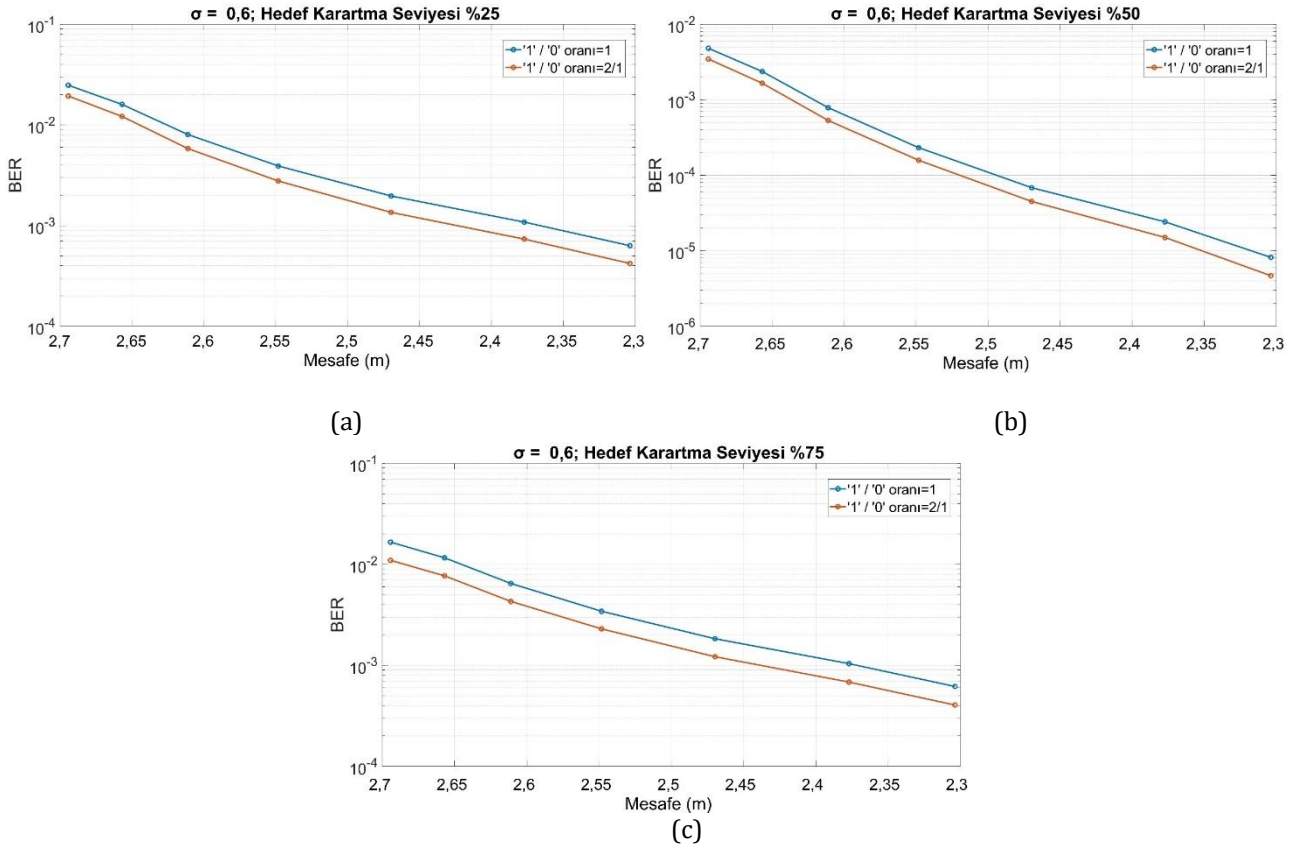
Şekil 3'de verilen geliştirilmiş demodülatör yapısı, M-2-VPAPM sinyallerinin çözülmesi için örnek bir mimari olarak düşünülebilir. İlk aşamada, darbenin konumunu tespit etmek için alınan sinyal bir maskeleyici sinyal ile çarpılır. Daha sonra sinyal, $y_1(t)$ ve $y_2(t)$ çıktıları üreten entegratör bloklarından geçirilir. Son aşamada, her iki sinyal de bir karşılaştırıcıya uygulanır. Konum biti olarak adlandırılan ilk bit, karşılaştırma bloğunun çıkışında elde edilmektedir. Şekil 3'de gösterildiği gibi D_0 olarak nitelendirilen veri bitini kodlamak için $P/2$ ve $3P/2$ dahil olmak üzere iki seviye oluşturulur. D_0 seviyesini belirlemek için M-2-VPAPM için bir eşik değerinin gerekli olduğu görülmektedir. Bu nedenle, her iki iletim seviyesinin ortalama değeri olarak ayarlanabilen uygun bir eşik değeri D_0 bitinin algılanması için kullanılmaktadır. Kullanıcının hareketli olması durumunda, bu durum alıcı gücünün dinamik seviyelerde olmasına neden olduğundan, alıcı sisteme uyarlanabilir bir algılama eşiği yöntemi uygulanmalıdır. Alınan $x(t)$ sinyali optik dedektör nedeniyle üretilen gürültü sinyaline eklenir.

3. Simülasyon Sonuçları (Simulation Results)

Yapılan tez çalışmasının amaçlarından birisi dengeli olmayan 0 ve 1 dağılımında M-n-VPAPM iletim yönteminin BER performansının analiz edilmesidir. M ve n değerlerinin 2 olması doğrultusunda 2-2-VPAPM iletim yöntemi için Matlab programı kullanılarak elde edilen performans sonuçları Şekil 4 ve 5'te verilmektedir. Şekillerde verilen '1'/0' oranı $3P/2$ gücünde gönderilen sinyal sayısının $P/2$ gücünde gönderilen sinyal sayısına oranına eşittir. Bu durum Şekil 2.a ve Şekil 2.b'de verilen D_0 bitinin 1 ve 0 gelme sayıları ile ifade edilmiştir. Elde edilen simülasyon sonuçları gürültünün standart sapması $\sigma = 0,6$ için elde edilmiş olup, hedef karartma seviyeleri sırasıyla %25, %50 ve %75 olarak seçilmiştir. %100 dolu olan bir darbenin alıcı tarafta P gücünde bir etki oluşturduğu düşünülürse, hedef karartma seviyesi %25 olan bir sistem için alıcı tarafta $0,25P$ gücünde bir sinyal alınmaktadır. Şekil 4.a' da verilen '1'/0' = $1/2$ oranı, D_0 bitinin mantıksal '1' seviyesinde olma sayısının mantıksal '0' seviyesinde olma sayısına oranı olarak düşünülmektedir. Mavi çizgi ile performansı verilen sistem için herhangi bir mesafede alınan normalize edilmiş güç $0,25P$ iken, kırmızı renkli çizgi ile performansı verilen sistem için alınan normalize edilmiş güç yaklaşık olarak $0,208P$ seviyesindedir. Şekil 4.b ve Şekil 4.c'de '1'/0' = $1/2$ oranı olan sistemler için normalize edilmiş güç değerleri sırasıyla $0,417P$ ve $0,625P$ olarak hesaplanmaktadır. Ancak '1'/0' = $1/1$ olan genel bir sistem için bu değerler %50 hedef karartma seviyesi için $0,5P$ ve %75 hedef karartma seviyesi için $0,75P$ olmalıdır.



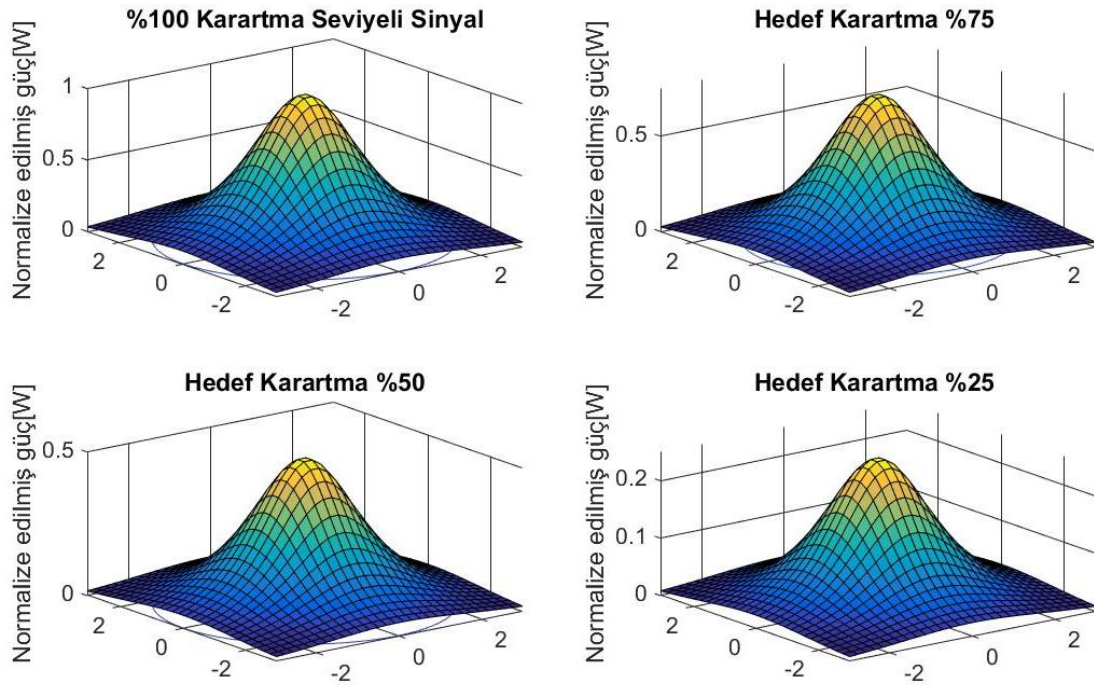
Şekil 4. 2-2-VPAPM için farklı seviyelerde iletim (Yüksek Güç seviyesinden yapılan iletimlerin, hedef karartma seviyesine göre yapılan iletimlere göre daha fazla olduğu durum)



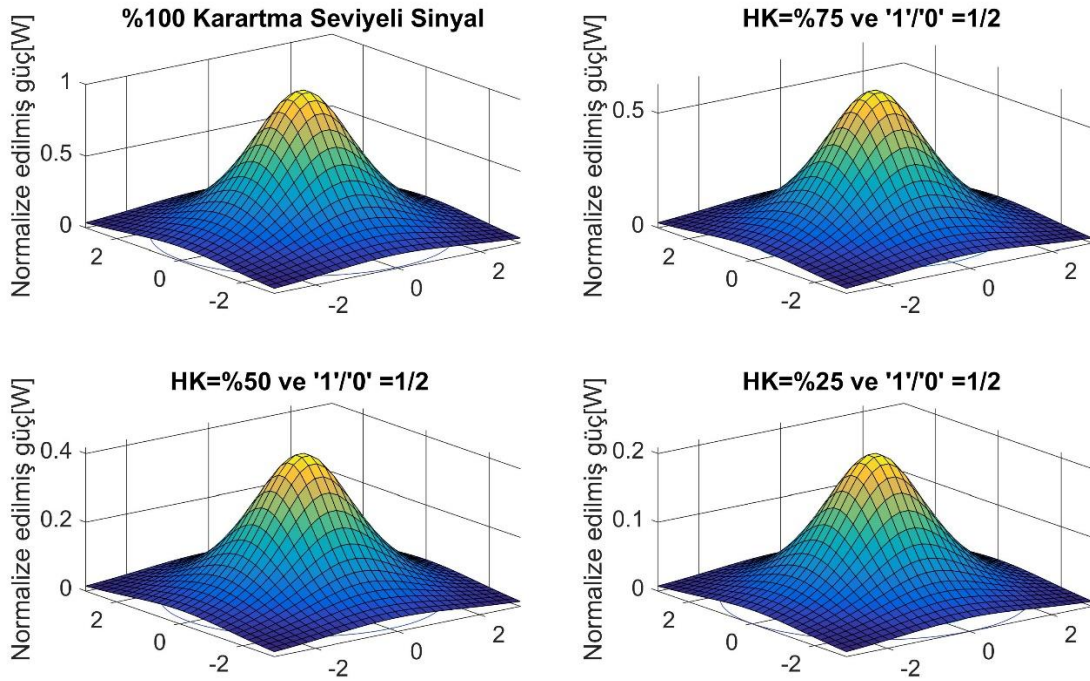
Şekil 5. 2-2-VPAPM için D_0 bitinin $1/0=2/1$ durumu altında BER performansı a) %25 hedef karartma seviyeli sinyal b) %50 hedef karartma seviyeli sinyal c) %75 hedef karartma seviyeli sinyal (BER performance of 2-2-VPAPM under $1/0=2/1$ of ratio of D_0 bit of cases a) 25% target dimming level b) 50% target dimming level c) 75% target dimming level)

Şekil 5'de ise D_0 bitinin '1'/ '0' =2/1 oranı için elde edilen sonuçlar D_0 bitinin '1'/ '0' =1/1 oranı için elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Hedef Karartma seviyeleri %25, %50 ve %75 için D_0 bitinin '1'/ '0' =2/1 oranında elde edilecek karartma seviyeleri sırasıyla yaklaşık olarak %29,1, %58,3 ve %87,5 olacaktır.

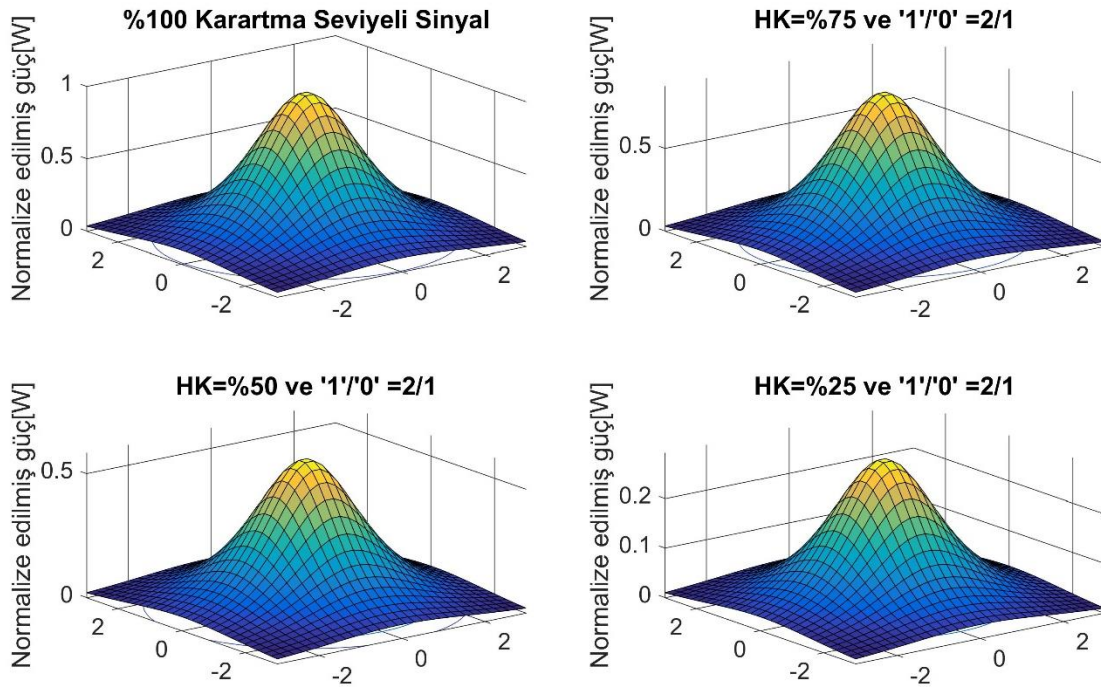
Şekil 4 ve Şekil 5 birlikte incelendiğinde hedef karartma seviyesinin üzerindeki karartma seviyelerini veren D_0 bitinin '1'/ '0' oranı için elde edilen BER sonuçlarının hedef karartma seviyesinin tam sağlanması durumunda elde edilen BER sonuçlarına göre daha iyi olduğu görülmüştür. Ancak D_0 bitinin '1'/ '0' oranının hedef karartma seviyesinin altındaki bir karartma seviyesine eşit olacak şekilde VPAPM sinyalinin üretilmesine neden olması durumunda BER performansı, tam hedef karartma seviyesinde sinyal üreten sisteme göre daha düşük olacaktır. Şekil 6 tam hedef karartma seviyesinde üretilen sinyal için oda içi normalize edilmiş güç dağılımını verirken, Şekil 7 ve Şekil 8 ise D_0 bitinin '1'/ '0' oranına göre hedef karartma seviyesinin üzerinde ve altında karartma seviyelerine sahip olan sinyallerin oda içi güç dağılımını göstermektedir. Şekillerde HK hedef karartma seviyesi olarak tanımlanmaktadır. D_0 bitinin '1'/ '0' oranındaki artış BER performansında artışa neden oluyorken, Şekil 6, 7 ve 8'e göre de güç verimliliği açısından bir düşüşe neden olmaktadır.



Şekil 6. 2-2-VPAPM için hedef karartma seviyesine göre oda içi normalize edilmiş güç dağılımı. (Indoor normalized power distribution for 2-2-VPAPM versus target dimming level)



Şekil 7. 2-2-VPAPM için D_0 bitinin $1/0=1/2$ durumu altında oda içi normalize edilmiş güç dağılımı (Indoor normalized power distribution for 2-2-VPAPM under $1/0=1/2$ rate of D_0 bit of cases)



Şekil 8. 2-2-VPAPM için D_0 bitinin $1/0=2/1$ durumu altında oda içi normalize edilmiş güç dağılımı (Indoor normalized power distribution for 2-2-VPAPM under $1/0=2/1$ rate of D_0 bit of cases)

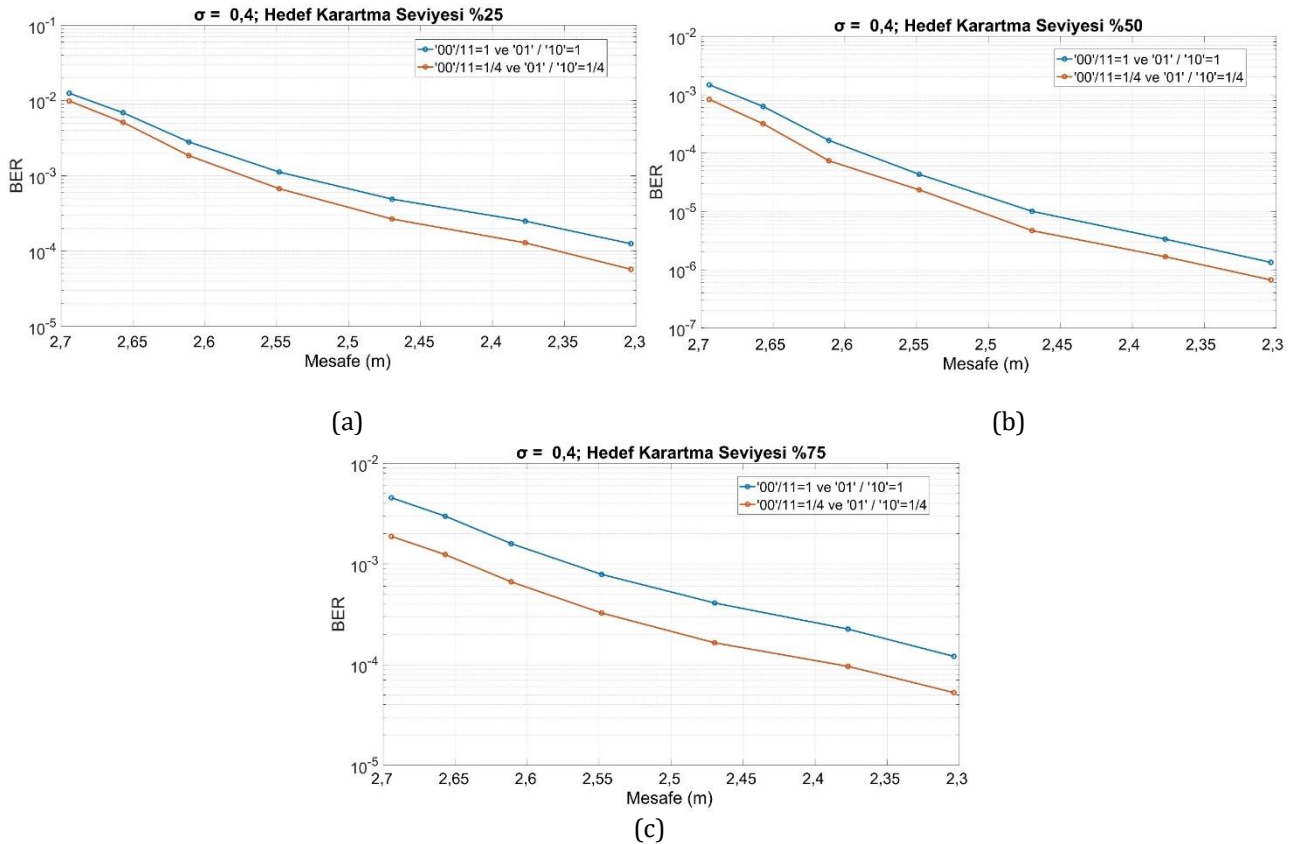
Tablo 1. 2-2-VPAPM için Normalize Edilmiş Güç Değerleri (Normalized Power Values for 2-2-VPAPM)

HK	'1'/0'	NEGD	'1'/0'	NEGD
25	1/2	0,208	2/1	0,291
50	1/2	0,417	2/1	0,583
75	1/2	0,625	2/1	0,875

Şekil 6, oda içi bir VLC sisteminde karartma seviyesine göre güç dağılımını ve en yüksek iletilebilecek güç değerinin 1'e normalize edilmiş şeklini vermektedir. Normalize edilen bu değer en kısa iletim mesafesi dikkate alınarak elde edilmiştir. %100 karartma seviyeli sinyal tam dolu olarak iletilen sinyal olarak düşünülmektedir. %75, %50 ve %25 karartma seviyeli sinyallerin sırasıyla normalize edilmiş güç değerlerinin (NEGD) maksimum değerleri 0,75, 0,50 ve 0,25 olarak elde edilmiştir. Geleneksel sisteme göre ve normalize edilmiş değerlere göre D_0 dengeli olmayan '1'/'0' oranına göre ortalama güç dağılımı da Şekil 7 ve Şekil 8'de verilmektedir.

Şekil 7'de D_0 bitinin '1'/'0' oranı 1/2 iken, Şekil 8'de bu oran 2/1 olarak alınmıştır. D_0 biti mantıksal '1' seviyesinde olduğunda VPAPM sinyal 3P/2 güç seviyesinde iletiliyorken, '0' seviyesindeyken modülasyonlu sinyal P/2 güç seviyesinde iletilmektedir. Bu nedenle '1'/'0' oranının yüksek olması durumunda iletilecek olan oda içi güç dağılımından da görüldüğü gibi mesafeye göre daha yüksek optik güç sağladığı görülecektir. Bu değerler sırasıyla en kısa iletim mesafesi için 0,291, 0,583 ve 0,875 olarak normalize edilmiştir. Ancak '1'/'0' oranının 1/2 olması durumunda normalize edilen değerler sırasıyla 0,208, 0,417 ve 0,625 olacaktır. Bu nedenle Şekil 7 ve Şekil 8'de verilen güç dağılımı, Şekil 4 ve Şekil 5'te verilen BER performansları ile birlikte incelendiğinden güç verimliliğinde artış olduğu görülmüştürken BER performansında düşüş olduğu izlenmektedir. 2-2-VPAPM için normalize edilmiş güç değerleri sayısal gösterim için Tablo-1'de verilmektedir.

Şekil 9 ve Şekil 10'da 4-2-VPAPM iletim yönteminin dengeli olmayan '00'/'11' ve '01'/'10' oranlarındaki iletim için elde edilen BER performansları verilmektedir. Şekil 3.4.c'de bu iki bit D_0 ve D_1 biti olarak gösterilmektedir. D_0 ve D_1 bitlerinin 00, 01, 10 ve 11 olması durumlarında iletilen 4-2-VPAPM sinyallerin güç seviyeleri sırasıyla P/4, 3P/4, 5P/4 ve 7P/4 olmaktadır. 2-2-VPAPM yönteminde olduğu gibi yüksek güç seviyesinden iletim yapılması ve hedef karartma seviyesinin üzerindeki karartma seviyelerinde elde edilen BER performansı, '00'/'11'=1 ve '01'/'10'=1 oranları için elde edilen BER performansına göre daha yüksek seviyededir. Bu durum Şekil 9.a, Şekil 9.b ve Şekil 9.c'de verilmektedir.

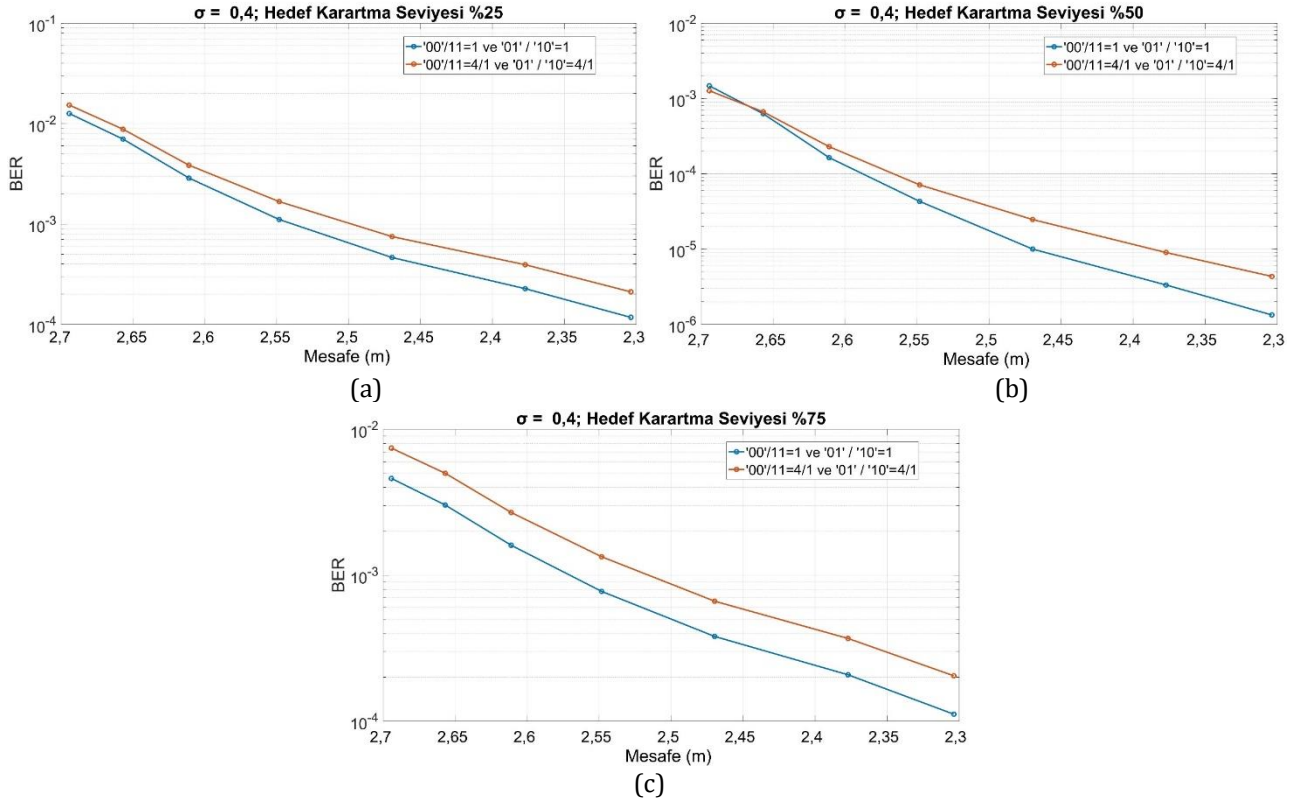


Şekil 9. 4-2-VPAPM için 00/11=1/4 ve 01/10=1/4 durumları altında BER performansı a) %25 hedef karartma seviyeli sinyal b) %50 hedef karartma seviyeli sinyal c) %75 hedef karartma seviyeli sinyal (BER performance of 4-2-VPAPM under 00/11=1/4 ve 01/10=1/4 of cases a) 25% target dimming level b) 50% target dimming level c) 75% target dimming level)

2-2-VPAPM şemasında olduğu gibi daha yüksek seviyede iletim yapan 4-2-VPAPM iletim yönteminde de yüksek ve düşük güç seviyelerden yapılan iletimlerin oranlarında değişiklik yapılarak Şekil 4.10'da görülen sonuçlar elde edilmiştir. Sırasıyla %25, %50 ve %75 karartma seviyeleri için 0,4 gürültü standart sapma değeri için simülasyon sonuçları Şekil 4.10. a, Şekil 4.10. b ve Şekil 4.10. c'de verilmektedir. Hem Şekil 4.9 hem de Şekil 4.10'da verilen simülasyon sonuçlarından görüldüğü gibi en iyi BER performansı '00'/'11'=1 ve '01'/'10'=1 oranları için %50

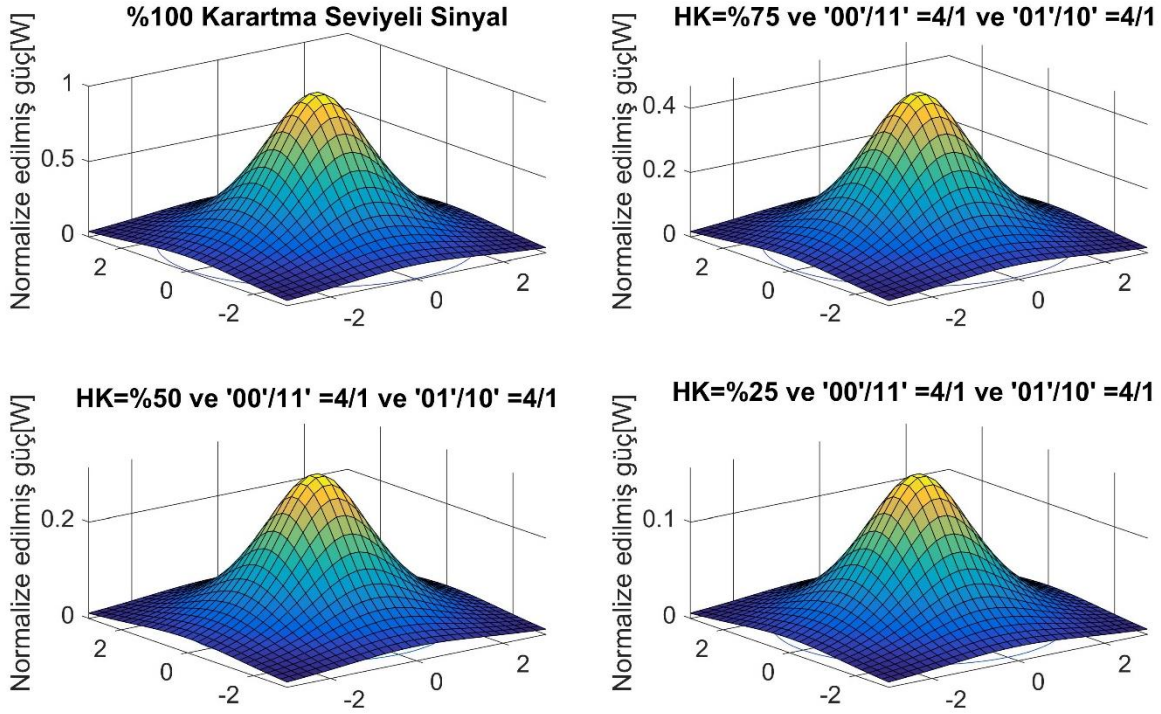
karartma seviyesinde alınmaktayken %25 ve %75 karartma seviyelerinde elde edilen BER performansları benzerlik göstermektedir.

Şekil 4.9'dan görüldüğü gibi hedef karartma seviyesinde iletilen sinyale göre daha iyi bir BER performansı, dengeli olmayan D_0 ve D_1 bitlerinin '00'/'11' ve '01'/'10' oranlarında elde edilmiştir. '00'/'11'=1/4 ve '01'/'10'=1/4 olması, hedef karartma seviyesine göre daha yüksek karartma seviyeli sinyalin üretimine neden olmaktadır. Ayrıca iletilen sinyallerin ortalama güç seviyeleri %25, %50 ve %75 karartma seviyeleri için sırasıyla 0,325P, 0,650P ve 0,975P olmaktadır. Benzer şekilde Şekil 4.10'da kullanılan '00'/'11'=4 ve '01'/'10'=4 oranı için elde edilen ortalama güç seviyeleri %25, %50 ve %75 karartma seviyelerinde sırasıyla 0,175P, 0,350P ve 0,525P olarak elde edilmektedir. Şekilden görüldüğü gibi dengeli olmayan D_0 ve D_1 bitlerinin '00'/'11' ve '01'/'10' oranlarının hedef karartma seviyesinin altında bir karartma seviyesine neden olması, BER performansında düşüşe neden olmaktadır.

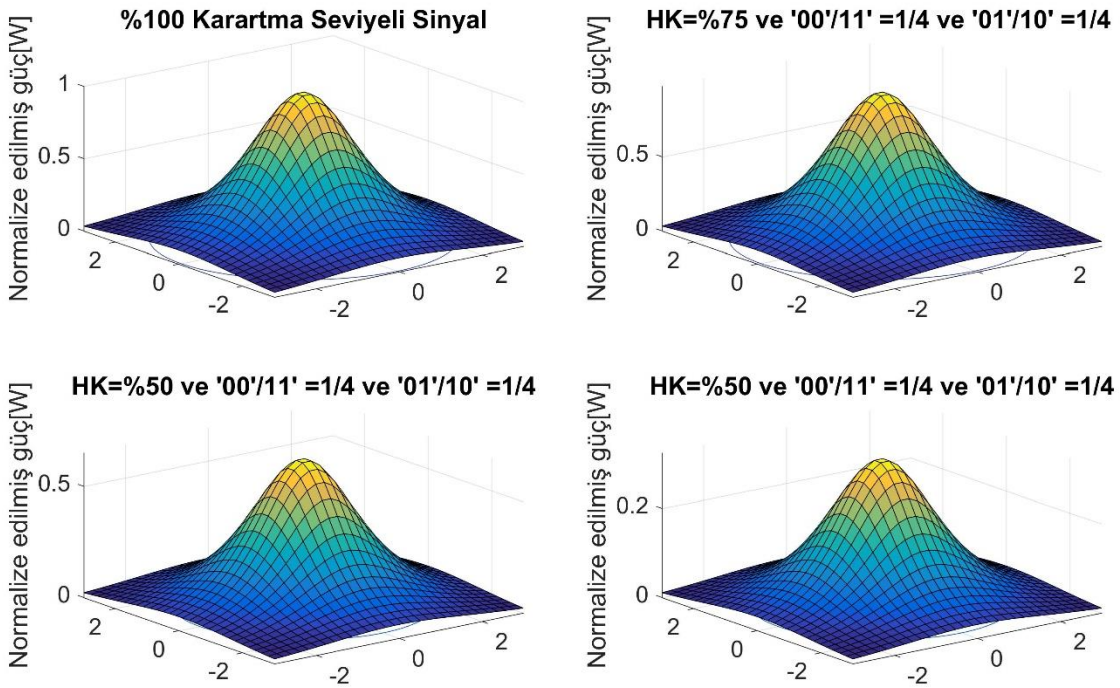


Şekil 10. 4-2-VPAPM için 00/11=4/1 ve 01/10=4/1 durumları altında BER performansı a) %25 hedef karartma seviyeli sinyal b) %50 hedef karartma seviyeli sinyal c) %75 hedef karartma seviyeli sinyal (BER performance of 4-2-VPAPM under 00/11=4/1 ve 01/10=4/1 of cases a) 25% target dimming level b) 50% target dimming level c) 75% target dimming level)

Şekil 9 ve Şekil 10'da D_0 ve D_1 bitlerinin dengeli olmayan '00'/'11' ve '01'/'10' oranları için BER performans sonuçları verilmiştir. Bu sonuçların elde edilmesinde kullanılan sinyallerin oda içerisindeki güç dağılımları incelenmiş olup, dağılımlar Şekil 11 ve Şekil 12'de verildiği gibidir. Şekillerden görüldüğü gibi dengeli '00'/'11' ve '01'/'10' oranına sahip ve %100 karartma seviyeli sinyalin güç değeri 1W değerine normalize edilmiştir. Normalize edilmiş bu güç değeri kullanılarak dengeli olmayan '00'/'11' ve '01'/'10' oranındaki sinyaller için de dağılımlar elde edilebilmektedir. '00'/'11'=4 ve '01'/'10'=4 oranlarında elde edilen güç değerleri %25, %50 ve %75 karartma seviyelerinde sırasıyla 0,175P, 0,350P ve 0,525P olarak belirtilmiştir. Bu değerlerde P yerine normalize edilmiş güç değeri yazılarak Şekil 11'de elde edilen sonuçlar incelenebilmektedir. Benzer şekilde '00'/'11'=1/4 ve '01'/'10'=1/4 oranlarında elde edilen güç değerleri %25, %50 ve %75 karartma seviyelerinde sırasıyla 0,325P, 0,650P ve 0,975P olarak elde edilmiştir. 4-2-VPAPM için normalize edilmiş güç değerleri sayısal gösterim için Tablo-1'de verilmekte olup, bu referans değerler için de simülasyon sonuçları Şekil 12'de görüldüğü gibidir.



Şekil 11. 4-2-VPAPM için 00/11=4/1 ve 01/10=4/1 durumları altında oda içi normalize edilmiş güç dağılımı (Indoor normalized power distribution for 4-2-VPAPM under 00/11=4/1 ve 01/10=4/1 of cases)



Şekil 12. 4-2-VPAPM için 00/11=1/4 ve 01/10=1/4 durumları altında oda içi normalize edilmiş güç dağılımı (Indoor normalized power distribution for 4-2-VPAPM under 00/11=1/4 ve 01/10=1/4 of cases)

Tablo 2. 4-2-VPAPM için Normalize Edilmiş Güç Değerleri (Normalized Power Values for 4-2-VPAPM)

HK	'00'/11' ve '01'/10'	NEGD	'00'/11' ve '01'/10'	NEGD
25	4/1	0,175	1/4	0,325
50	4/1	0,350	1/4	0,650
75	4/1	0,525	1/4	0,975

4. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Bu çalışmada VPAPM yönteminin BER performansı alıcı-verici arasındaki mesafe dikkate alınarak incelenmiştir. BER performansı düşük veya yüksek güç seviyelerinden yapılan iletimlerin eşit olmadığı durumlar için elde edilmiştir. Bu durumda VPAPM iletim şemasının hedef karartma seviyesinden uzaklaştığını göstererek istenilen karartma seviyesinin ayarlayabilmenin oldukça zor olduğunu göstermektedir. Bunun nedeni hedef karartma seviyesinin sağlanabilmesi için veri bitlerinin dengeli olarak gelmesi gerektiğinden olduğu görülmüştür. Ayrıca, karşılaştırma sonuçlarına yüksek güç seviyesinde yapılan iletimlerde elde edilen BER performansı hedef karartma seviyesinde yapılan iletimlerde elde edilen BER performansına göre daha iyi bir sonuç veriyorken, düşük güç seviyesinde yapılan iletimlerin hedef karartma seviyesinde yapılan iletimlere göre daha düşük BER performansı verdiği görülmüştür. İleride yapılacak çalışmalarda, bilgi bitlerinden bağımsız olarak hedef karartma seviyesinin tam olarak desteklenebilmesinde kullanılabilir bir mimarinin geliştirilmesi üzerine çalışmalar yapılabilir.

Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışma için destek alınmamıştır.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

Kaynaklar (References)

- Börekoğlu, S. Sönmez, M. (2022). Performance Analysis of Dimming Methods in Visible Light Communication Systems . Journal of Advanced Research in Natural and Applied Sciences , 8 (3) , 485-493 .
- Chavhan, S., 2022. Shift to 6G: Exploration on trends, vision, requirements, technologies, research, and standardization efforts. Sustainable Energy Technologies and Assessments, 54, 1-33.
- Deng, K., Wan, Y., Lu, Y., 2019. MPPM based dimming control scheme in visible light communication systems. Optics Communications, 451, 168-173.
- Dyble, M., Narendran, N., Bierman, A., Klein, T., 2005. Impact of dimming white LEDs: chromaticity shifts due to different dimming methods, in Proc. SPIE 5th Int. Conf. Solid State Lighting, 5941, 291-299.
- Feng, L., Hu, R. Q., Wang, J., Xu, P., 2015. Fountain code-based error control scheme for dimmable visible light communication systems. Optics Communications, 347, 20-24.
- Gu, Y., Narendran, N., Dong, T., Wu, H., 2006. Spectral and luminous efficacy change of high-power LEDs under different dimming methods, in Proc. 6th Int. Conf. Solid State Lighting, 6337, 1-7.
- Guo, J. N., Zhang, J., Zhang, Y. Y., Xin, G., Li, L., 2021. Joint multi-LED dimming control scheme based on the additively uniquely decomposable constellation group. Optics Communications, 495, 1-6.
- Israr, A., Yang, Q., Israr, A., 2022. Power consumption analysis of access network in 5G mobile communication infrastructures An analytical quantification model. Pervasive and Mobile Computing, 80, 1-17.
- Jarchlo, E. A., Eso, E., Doroud, H., Siessegger, B., Ghassemlooy, Z., Caire, G., Dressler, F., 2022. Li-Wi: An upper layer hybrid VLC-WiFi network handover solution. Ad Hoc Networks, 124, 1-10.
- Karunatilaka, D., Zafar, F., Kalavally, V., Parthiban, R., 2015. LED based indoor visible light communications: State of the art. IEEE communications surveys & tutorials, 17(3), 1649-1678.
- Komine, T., Nakagawa, M., 2004. Fundamental analysis for visible-light communication system using LED lights. IEEE transactions on Consumer Electronics, 50(1), 100-107.
- Lee K., Park H., 2011. Modulations for visible light communications with dimming control, IEEE Photon. Technol. Lett., 23(16), 1136-1138.
- Matheus, L. E. M., Vieira, A. B., Vieira, L. F. M., Vieira, M. A. M., Gnawali, O., 2019. Visible light communication: concepts, applications and challenges, IEEE Communications Surveys and Tutorials, 21(4), 3204-3237.
- Mohsan, S. A. H., Khan, M. A., Amjad, H., 2022. Hybrid FSO/RF networks: A review of practical constraints, applications and challenges. Optical Switching and Networking, 47, 1-17.
- Raj, R., Jaiswal, S., Dixit, A., 2020. On the effect of multipath reflections in indoor visible light communication links: Channel characterization and BER analysis. IEEE Access, 8, 190620-190636.
- Raj, R., Jaiswal, S., Dixit, A., 2021. Dimming-based modulation schemes for visible light communication: spectral analysis and ISI mitigation. IEEE Open Journal of the Communications Society, 2, 1777-1798.
- Shahjalal, M., Kim, W., Khalid, W., Moon, S., Khan, M., Liu, S., Jang, Y. M., 2022. Enabling technologies for AI empowered 6G massive radio access networks. ICT Express, Article in Press.
- Shankar, V., Grewal, D., Sunder, S., Fossen, B., Peters, K., Agarwal, A., 2021. Digital marketing communication in global marketplaces: A review of extant research, future directions, and potential approaches. International Journal of research in Marketing, 39(2), 541-565.
- Stergiou, C. L., Psannis, K. E., 2022. Digital Twin Intelligent System for Industrial IoT-based Big Data Management and Analysis in Cloud. Virtual Reality & Intelligent Hardware, 4(4), 279-291.
- Vats, A., Aggarwal, M., Ahuja, S., 2022. Outage and error performance analysis of dual hop hybrid RF-VLC system with wireless energy harvesting. Physical Communication, 55, 1-10.

- Wang, J. Y., Wang, J.B., Chen, M., Song, X., 2013. Dimming scheme analysis for pulse amplitude modulated visible light communications. In 2013 International Conference on Wireless Communications and Signal Processing, 1-6.
- Wang, Z., Zhong, W. D., Yu, C., Chen, J., Francois, C. P. S., Chen, W., 2012. Performance of dimming control scheme in visible light communication system. *Optics express*, 20(17), 18861-18868.
- Yi, L., Lee, S.G., 2014. Performance improvement of dimmable VLC system with variable pulse amplitude and position modulation control scheme. In 2014 International Conference on Wireless Communication and Sensor Network, 81-85.
- Yoo, J.H., Jung, S.Y., 2013. Modeling and analysis of variable PPM for visible light communications. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 2013(1), 1-6.
- Yoo, J.H., Kim, B.W., Jung, S.Y., 2015. Modelling and analysis of M-ary variable pulse position modulation for visible light communications. *IET Optoelectronics*, 9(5), 184-190.
- Yun, J., Ryeom, J., 2020. Dimming Correction Scheme considering Luminous Characteristics of R, G, B LEDs in Visible Light Communication. *Journal of Electrical Engineering & Technology*, 15, 1759-1768.
- Zafar, F., Kalavally, V., Bakaul, M., Parthiban, R. 2015. Experimental investigation of analog and digital dimming techniques on photometric performance of an indoor Visible Light Communication (VLC) system. In Fourteenth International Conference on Solid State Lighting and LED-based Illumination Systems, 9571, 59-66.
- Zafar, F., Karunatilaka, D., Parthiban, R. 2015a. Dimming schemes for visible light communication: the state of research. *IEEE Wireless Communications*, 22(2), 29-35.
- Zafar, F., Bakaul, M., Parthiban, R. 2017. Laser-Diode-Based Visible Light Communication: Toward Gigabit Class Communication. *IEEE Communications Magazine*, 55(2), 144-151.



PRACTICALLY COMPARISON OF SOME MECHANICAL STANDARD TEST METHODS FOR LEATHER AND TEXTILE

Nilay ORK EFENDIOGLU^{1*}, Emrah TEMEL²

¹ Ege University, Engineering Faculty, Leather Engineering Department, Izmir, Türkiye

² Ege University, Engineering Faculty, Textile Engineering Department, Izmir, Türkiye

Keywords

Leather,
Fabric,
Artificial Material,
Mechanical Properties,
Standards.

Abstract

Fabrics, leathers and artificial materials show structurally different properties. For example, if a fabric material is woven, it is formed by connecting the threads at a right angle to each other with a certain system; on the other hand, leather is formed by naturally binding complex collagen fibers with specific and different angles depending on their area. Also, artificial materials are produced separately using PVC and PU. These structural differences directly affect the mechanical properties of materials and therefore Turkish Standards Institute (TSE) offers different test methods for textile and leather materials. There are some differences between these standards according to the shape/size of test samples, jaw length, speed, etc. Since leather is an expensive material and has a limited area, sample sizes of leather standards are smaller than the dimensions specified in the textile standard; however, sample sizes in textile standards can be a problem for some expensive textile materials e.g., silk, silver-added fabrics, vicuna, etc. The aim of this study is to examine the differences between the results obtained from the textile and leather standard methods. In this scope, the tensile strength, elongation and tear load values of the two different tanned garment leathers, artificial material, and two different kinds of woven fabrics were obtained by applying both leather and textile standard methods. While there was a statistical difference between the two methods in tensile strength and elongation values for all materials, no difference was observed in tear load values.

BAZI MEKANİKSEL DERİ VE TEKSTİL STANDART METOTLARININ UYGULAMALI OLARAK KARŞILAŞTIRILMASI

Anahtar Kelimeler

Deri,
Kumaş,
Suni Malzeme,
Mekaniksel Özellikler,
Standartlar.

Öz

Kumaşlar, deriler ve suni malzemeler yapısal bakımdan farklı özellikler göstermektedirler. Örneğin kumaş materyali eğer dokumaysa ipliklerin belli bir sistemle birbirlerine dik bir açı ile bağlanmasıyla oluşmakta, diğer bir yandan deri ise tamamen doğal olarak kompleks kolajen liflerinin kendilerine özgü ve alanına bağlı olarak farklı açılar ile bağlanmasıyla oluşmaktadır. Ayrıca suni malzemeler ise tamamen farklı olarak PVC ve PU kullanılarak üretilmektedirler. Bu yapısal farklılıklar özellikle mukavemet özelliklerine doğrudan etki etmektedir ve bu nedenle Türk Standartları Enstitüsü (TSE) tekstil ve deri malzemeler için farklı test yöntemleri sunmaktadır. Bu standartlar arasında test numunelerinin şekli/boyutu, çene aralığı, hızı vb. farklılıklar mevcuttur. Derinin pahalı ve sınırlı bir alana sahip olması nedeniyle deri standartlarının numune boyutları tekstil standardında belirtilen boyutlardan daha küçüktür ancak tekstil standartlarındaki numune boyutları ipek, gümüş katkılı kumaşlar, vicuna vb. pahalı tekstil malzemeleri için sorun olabilmektedir. Bu çalışmanın amacı, tekstil ve deri standart yöntemlerinden elde edilen sonuçlar arasındaki farklılıkları incelemektir. Çalışma kapsamında, hem deri hem de tekstil standart metotları uygulanarak iki farklı tabaklanmış giysilik derinin, bir suni malzemenin ve iki farklı dokuma kumaşın çekme mukavemeti, uzama değerleri ve yırtılma yükü değerleri elde edilmiştir. Çekme mukavemeti ve uzama değerlerinde iki metot arasında tüm materyallerde istatistiki olarak fark çıkarken, yırtılma yükü değerlerinde fark gözlemlenmemiştir.

* İlgili yazar / Corresponding author: nilay.ork@ege.edu.tr, +90-232-311-2644

Alıntı / Cite

Ork Efendioglu, N., Temel, E., (2023). Practically Comparison of Some Mechanical Standard Test Methods for Leather and Textile, *Journal of Engineering Sciences and Design*, 11(4), 1568-1579.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

N. Ork Efendioglu, 0000-0002-3867-5009

E. Temel, 0000-0002-8520-2618

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date 30.10.2022

Revizyon Tarihi / Revision Date 07.08.2023

Kabul Tarihi / Accepted Date 06.12.2023

Yayın Tarihi / Published Date 30.12.2023

PRACTICALLY COMPARISON OF SOME MECHANICAL STANDARD TEST METHODS FOR LEATHER AND TEXTILE

Nilay ORK EFENDIOGLU^{1†}, Emrah TEMEL²

¹Ege University, Engineering Faculty, Leather Engineering Department, Izmir, Türkiye

²Ege University, Engineering Faculty, Textile Engineering Department, Izmir, Türkiye

Highlights

- Textile materials with different structures such as leathers, fabrics and artificial material were selected.
- Some mechanical test values of these materials were obtained by applying both leather and textile standard methods.
- It was investigated statistically whether there was a significant difference between mentioned standard methods.
- The question was asked whether leather standards can be used instead of textile standards in the testing of fabrics.

Purpose and Scope

Since leather is an expensive material and has a limited area, sample sizes of leather standards are smaller than the dimensions specified in the textile standard; however, sample sizes in textile standards can be a problem for some expensive textile materials e.g., silk, silver-added fabrics, vicuna, etc. The aim of this study is to examine the differences between the results obtained from the textile and leather standard methods.

Design/methodology/approach

The tensile strength, elongation and tear load values of the two different tanned garment leathers, artificial material, and two different kinds of woven fabrics were obtained by applying both leather and textile standard methods. Statistical analyses of the data are obtained by using IBM SPSS Statistics 20 Program. Mann-Whitney U test was performed for testing the significance of the difference between leather and textile standard test methods for each test and each material.

Findings

When the leather and textile standard test methods were compared for tensile strength and elongation values, it is seen that the two standards did not give similar results for all materials. The biggest differences between these two standard test methods are sample sizes and gauge length and for these reasons, it was expected that the results were different.

When the leather standard method, which has a lower gauge length (50 mm) compared to the textile standard method (200 mm), was applied, it was seen that the tensile strength and elongation values of all materials were high.

Tear load results were very close for all materials numerically.

When the physical test results of two standard methods are compared for all materials separately as statistically, it is found that tensile strength and elongation test results differed for all materials between test standard methods. However, it is observed that there are parallel results with numerical data, there are no differences between textile and leather test standard method of tear load for all materials.

[†] Corresponding author: nilay.ork@ege.edu.tr, +90-232-311-4413

Practical implications

When measuring the tensile strength and elongation values of expensive textile materials, the leather standard method cannot be applied so that testing cannot be done with smaller-sized samples, because the values are higher than the textile standard. When measuring tear load values of expensive textile materials, the leather standard method can be applied thus, fabric consumption can be reduced.

Originality

It has been seen that there is no study in the literature comparing leather and textile standard test methods differently. For this reason, this study provides an original and useful contribution to the literature, but also in future studies, different test methods can be compared using different kind of materials.

1. Introduction

Geometrically, the fabric is a surface with covering properties and it is an elastic material mechanically. The properties of the fabric are largely provided by the unique qualities of the fibers, which are the building blocks of the fabric, and the yarns formed by combining the fibers (Gurkan Unal and Taskin, 2007). A piece of woven cloth consists of two sets of parallel yarns, called the warp and the weft, running perpendicular to each other. As the weft yarns travel through the weave, if they alternately cross over and then under the warp yarns (Breen et al., 1992).

Fabrics construction signifies the adjustment of fabric construction parameters for the subject of project requests for a particular fabric application area. The fabrics construction and its structure respectively are defined by fiber structure and its properties (fiber type; fiber mixture; geometrical, physical, mechanical and chemical properties); yarn structure and its properties (yarn type; geometrical, physical, mechanical and structural properties; technological parameters of spinning); fabric geometry (density, weight, physical, mechanical fabric properties); fabric patterning; technology of fabrics production. Those fabrics structure parameters, which can be numerically evaluated, are important for the announcement of the properties of a new fabric (Sujica and Pinteric, 1998).

Although fabric always comes to mind as a textile material, finished leathers used in leather apparel companies which have an important place in Türkiye and in the world are counted in this category. However, the fabric and leather show different characteristics. One of the biggest differences is that the leather does not have a homogeneous structure like fabric (Ork Efendioğlu et al., 2019).

The skin comprises mainly collagen, water, keratin, non-collagenous proteins, poly-saccharides and fats. The strength of the skin is provided by the fiber weave. This is mainly collagen, formed by long chains of amino acids held together by peptide links, and spiralling as a triple helix (Daniels and Landmann, 2006). The three-dimensional interweaving of collagen fiber bundles is responsible for its characteristic mechanical properties (Thanikaivelan et al., 2006) which are important characteristics of sheep nappa leathers and influence their end-use and comfort. The construction of garments from leather involves techniques that are similar to those used for garments made from woven fabrics. However, leather differs from textiles primarily because of the nature of the interwoven three-dimensional collagen networks (Phebe et al., 2011). Leather manufacturing involves operations like soaking (rehydration), dehairing, liming, deliming, degreasing, pickling, tanning, post-tanning and finishing processes. The tanning process comprises the conversion of putrefiable skins/hides to a nonputrescible and durable materials (Bienkiewicz, 1983; Kanth et al., 2009; Onem, 2018).

Tanning is the major step in leather production giving strength by the addition of cross-links to the collagen and providing thermal, enzymatic and microbial stability (Fathima et al., 2003). Among the tanning agents, chromium (III) salts are the most extensively used compounds due to the quality and high stabilization ability they impart to leather (Covington, 2008). Another widely used tanning agent is vegetable tannins, especially in the production of natural leathers. Their use is known for centuries, and the mechanism of their stabilization is based on multi-hydrogen links between the polyphenols and collagen (Madhan et al., 2007; Onem et al., 2017). Leather processes and mostly used chemicals have some important effects in the designation of final leather characteristics, however the most important effects are the type of the raw material, type and amount of tanning material used (Ork et al., 2014).

The leather garment industry differs from the woven fabric industry at many different phenomena. Differentiation seems in raw materials features such as size, thickness, biological, chemical or physical homogeneity (Utkun and Ondogan, 2011). The variety of raw materials in the leather industry is not as vast as in the textile industry; however, together with the help of developing technology and innovations in manufacturing, many more new

leathers with different and distinctive features are allowed to be produced (Ork et al., 2017). The important basic mechanical properties of leather clothing include even thickness, breaking tension, breaking force and area stretching, whereas the usage specifics refer to permeability to air and water vapor, washing and dry-cleaning characteristics, color stability, resistance to repeated folding (flexing), finish adhesion, and heat and cold resistance (Urbanija and Gersak, 2004).

In recent years, the production of artificial materials, which are alternatives to leather, is popular in markets. Synthetic alternatives usually consist of textile support covered by two or more synthetic polymer layers. Nowadays, often polyester textiles coated by PVC or polyurethane films are used, making them a completely fossil-based material. The surface optic can be designed leather-like by embossing a grain structure. Many different terms are used to describe these materials in the market, e.g., artificial leather, synthetic leather, leatherette, imitation leather, faux leather, man-made leather, bonded leather, pleather, textile leather, or polyurethane (PU)-leather. Meanwhile, the usage of these terms is restricted in the European standard EN 15987 (Meyer et al., 2021). However, as it is known they are synthetic and not healthy as leather which has breathability, air, vapor permeability features and surface properties are also not long-lasting.

It is seen that the mechanical property measurement standards of these materials, which are very different in terms of their structural properties, also naturally differ among themselves. There are some test standards written by Turkish Standards Institution (TSE) to measure the mechanical properties. The most used of these are the tensile strength, elongation percentage and tear load tests. Although garment leathers and fabrics are used in cloth manufacturing, the mechanical standards are differing for leather and textile materials. One of the most important differences is the sample sizing of the standards. For these tests, the sampling sizes specified in the textile standards are quite large when compared to the leather standards.

This study aims to examine the differences between the results obtained from the textile and leather standard methods. In this study, tensile strength, elongation (%) and tear load values of two different tanned garment leathers, artificial material, and two different kinds of fabrics were obtained by applying the standards for both leather and textile. Thus, it was investigated whether there was a significant difference between mentioned mechanical test standard methods.

2. Material and Method

2.1. Materials

Since different materials are desired to be used, two different kinds of leathers, one artificial material and two different kinds of woven fabrics were selected. The dimensional and structural properties of all materials are summarized in Table 1.

Table 1. Materials properties

CODE	MATERIAL	COMPOSITION	THICKNESS (mm)	MASS PER UNIT AREA (g/m ²)	ENDS/CM
1	Garment Leather	Chromium Tanned, Sheep	0.56 ± 0.03	353.33 ± 16.55	-
2	Garment Leather	Vegetable Tanned, Sheep	0.90 ± 0.04	456.30 ± 27.80	-
3	Artificial Material	Phthalate-containing polyester	0.51 ± 0.02	484.73 ± 6.84	-
4	Woven Plain Weave Fabric	60% Cotton + 40% Polyacrylonitrile	0.44 ± 0.01	239.50 ± 4.07	Weft: 26 Warp: 29
5	Woven Satin Fabric	100% Polyester	0.17 ± 0.01	108.54 ± 2.13	Weft: 34 Warp: 80

2.2. Methods

2.2.1. Textile Test Methods

Samplings for all tests were subjected according to TS EN 12751 standard (Figure 1). Conditioning parameters were set according to TS EN ISO 139, at 20 ± 2°C temperature and 60% ± 4 relative humidity for 24 hours. The thicknesses of the material samples were measured according to TS 7128 EN ISO 5084 standard by using SDL Atlas thickness gauge.

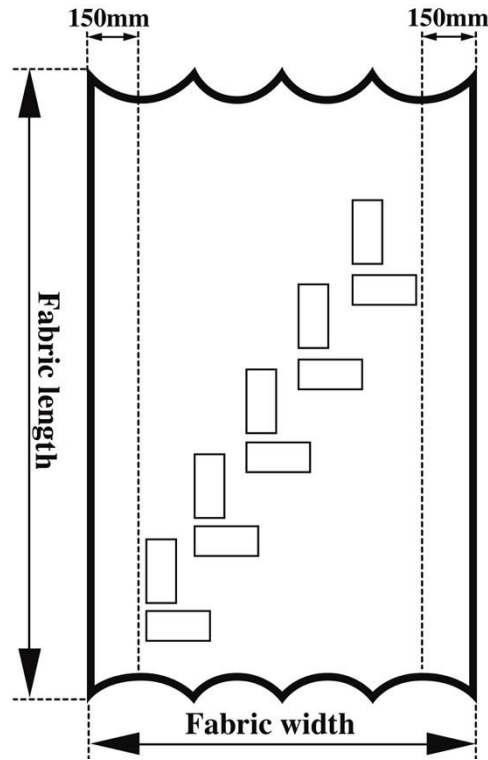


Figure 1. Textiles - sampling locations

Tensile strength and percentage of elongation (TS EN ISO 13934-1):

Two sets of test pieces, 5 parallel in the warp and weft directions, were cut from the fabric sample to be tested (Figure 2). The test sample was placed between the jaws of the test device Zwick/Roell (Figure 3) with a load cell capacity of 2.5 kN. The tensile speed of the device was adjusted to the value specified in the standard depending on the elongation rate of the fabric under force and the test was started. When the test sample ruptured, the maximum force and the amount of elongation under the highest force were recorded in millimetres or %. Tensile strength and modulus were calculated by Equation 1.

$$\text{Tensile strength, } \sigma = \frac{\text{Force}}{\text{Area}} \tag{1}$$

Here, force and area represent the maximum load to the sample (N) and the cross-sectional area of the sample (mm²), respectively.

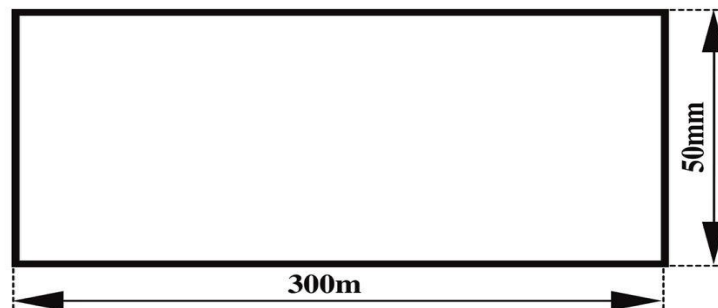


Figure 2. Textiles - sample sizes and shapes in the tensile strength and percentage of elongation test

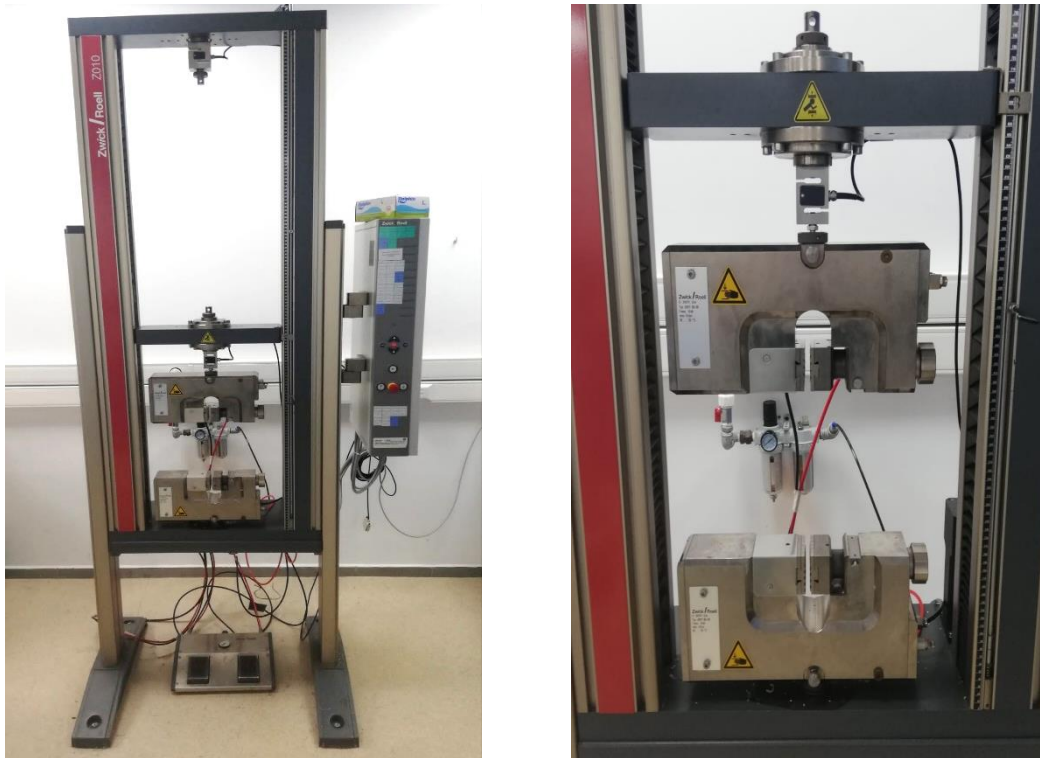


Figure 3. Zwick/Roell tensile tester

Tear load (TS EN ISO 13937-2):

It is based on the principle of determining the force required to advance the tear by pulling the prepared rectangular samples (5 parallel in the warp and weft directions) of 200 x 50 mm dimensions (Figure 4), cut to form a trouser shape in the middle of the short side, by pulling them to form a tear in the device Zwick/Roell (Figure 3) with a load cell capacity of 2.5 kN. The samples were placed in such a way that the notch on the sample comes to the midpoint of the jaw and each of the legs of the trouser-shaped test sample was held by a jaw. The gauge of the device was set to 100 mm and the sample elongation rate was set to 100 mm/sec. The tearing process continued until reaching to the point that marked as 25 mm. When the marked point was reached, the test was stopped and the tearing force was recorded. The average of the maximum and minimum peaks was recorded automatically in the graph created on the computer.

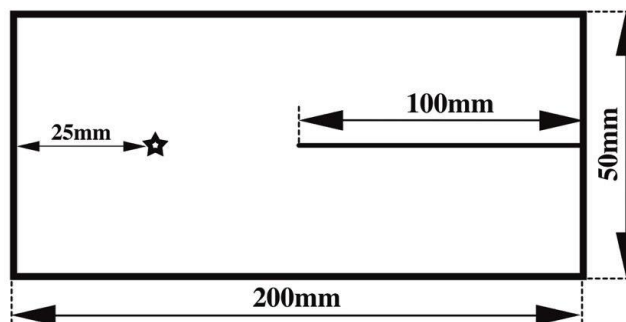


Figure 4. Textiles - sample sizes and shapes in the tear load test

2.2.2. Leather Test Methods

Leather is not a uniform material from a structural perspective. The physical properties of leather change depending on the animal type and the animal individually. Furthermore, these properties exhibit variations in different parts over the leather area (Mutlu et al., 2014). Thus, sampling is important for all leather test methods. TS EN ISO 2418 standard was used for sampling leather materials (Figure 5). Conditioning parameters were set according to TS EN ISO 2419, at $23 \pm 2^\circ\text{C}$ temperature and $50\% \pm 5$ relative humidity for 48 hours. The thicknesses of the material samples were measured according to TS EN ISO 2589 standard by using Satra thickness gauge.

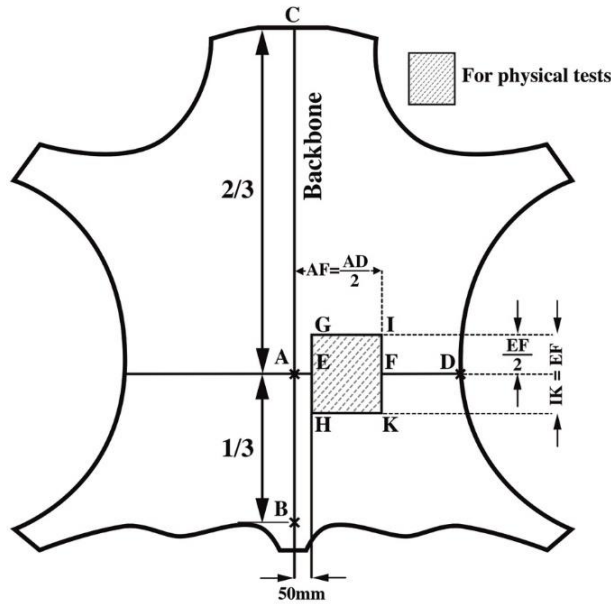


Figure 5. Leathers - sampling locations

Tensile strength and percentage of elongation (TS EN ISO 3376):

The leather test specimen (Figure 6) was clamped in the jaws of Shimadzu AG-IS Tensile Tester (Figure 7) with a load cell capacity of 5 kN. The test was performed in 3 set (3 parallel and 3 perpendiculars to the backbone). The separation speed of the device's jaws was set at 100 ± 20 mm/min. The device was operated until the test piece broke and the highest measured tensile force was recorded as F, and the tensile strength was recorded as F/mm^2 by dividing the highest tensile force by the sample cross-sectional area (Equation 1) and the elongation percentage was recorded as the last length of the sample on tensile.

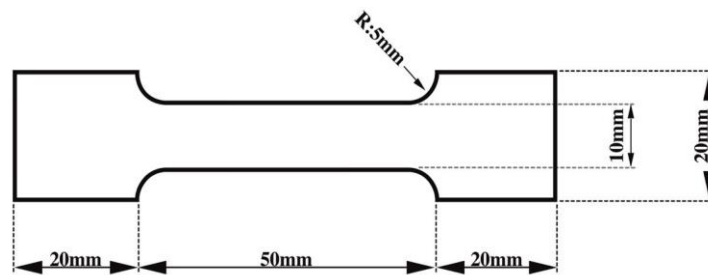


Figure 6. Leathers - sample sizes and shapes in the tensile strength and percentage of elongation test



Figure 7. Shimadzu AG-IS tensile tester

Tear load (TS EN ISO 3377-1):

Samples were cut from the materials to be tested (Figure 8). The test was performed in 3 set (3 parallel and 3 perpendiculars to the backbone). The distance between the jaws of Shimadzu AG-IS Tensile Tester device (Figure 7) with a load cell capacity of 5 kN was set to 50 mm. 20 mm of one leg of the test piece was attached to the lower jaw of the device. The other leg is folded 180° and similarly attached to the other jaw. For the determination of the arithmetic mean of the applied force, the graph consisting of the peaks was divided into four equal parts from the beginning of the first peak to the end of the last peak. The first and last parts were not used in the average value calculation. Two highest and two lowest peaks were selected from each of the other two parts. A suitable peak for the calculation is characterized by a 10% increase and decrease in strength. The tear load of each test sample was calculated based on the arithmetic mean in N from the obtained peak values.

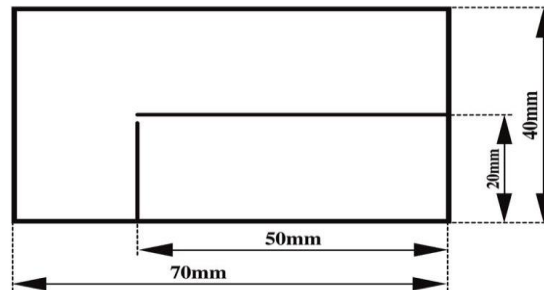


Figure 8. Leathers - sample sizes and shapes in the tear load test

2.2.3. Statistical Method

Statistical analyses of the data are obtained by using IBM SPSS Statistics 20 Program. Mann-Whitney U test was performed for testing the significance of the difference between leather and textile standard test methods for each test and each material.

3. Experimental Results

All five materials were tested for tensile strength, elongation percentage and tear strength by applying both textile and leather standards. The obtained data are given in Table 2 and the values are transferred to the graphs in Figure 9, 10, and 11 for easier visual evaluation.

Tensile strength is one of the most important physical quantities of characterizing the mechanical properties of materials (Case et al., 1999). It is a routine quality control test in the leather industry where maximum stress and breaking elongation of leathers are determined (Kontou and Farasoglou, 1998; Nalbant et al., 2016).

The tensile properties of woven fabrics are significant as they can indicate the fabrics' behavior during wear. In tensile testing, the main parameters include tensile stiffness, tensile stress and tensile strain. A typical tensile stress-strain curve of a woven fabric confirms the nonlinear behavior of the material, which is present in the initial stage during yarns alignment, which results in lower stress increase and in the final stage as the applied force overcomes the frictional force (Šomođi et al., 2019). Elongation at break is the increase in the length of the fabric when it breaks (Balci and Babaarslan, 2005). The breaking force in woven fabrics is measured as the force required for the fabric to break when a tension force is applied to the fabric. It can be said that the higher this tension force, the more durable the fabric is (Gurcum, 2010).

When the leather and textile standard test methods were compared for tensile strength and elongation values, it is seen that the two standards did not give similar results for all materials in Table 2 and Figure 9-10. The biggest differences between these two standard test methods are sample sizes and gauge length and for these reasons, it was expected that the results were different. Thanikaivelan et al., (2006) obtained tensile strength and elongation percentage results of shoe upper leathers by using different gauge lengths in their studies and found that the maximum breaking load and the percentage extension at break decreased with the increase in gauge length. In Figure 9 and 10 it is clearly seen when the leather standard method, which has a lower gauge length (50 mm) compared to the textile standard method (200 mm), was applied, it was seen that the tensile strength and elongation values of all materials were high.

Table 2. Mechanical properties of materials for two standards*

Code		Leather Standards Methods			Textile Standards Methods		
		Perpendicular/ Weft	Parallel/ Warp	Mean	Perpendicular/ Weft	Parallel/ Warp	Mean
1	Tensile Strength (N/mm ²)	8.16±0.70	10.86±0.79	9.51±1.78	6.06±1.60	6.39±1.71	6.23±1.52
	Elongation (%)	33.08±2.56	60.86±4.41	49.97±10.05	35.57±5.81	45.04±7.19	40.31±6.96
	Tear Load (N)	3.97±0.46	4.94±0.47	4.45±0.48	4.03±1.81	4.48±2.20	4.26±1.73
2	Tensile Strength (N/mm ²)	16.74±3.46	18.05±4.03	17.40±4.75	10.46±1.71	13.34±2.76	12.25±2.04
	Elongation (%)	65.50±9.11	65.39±6.15	65.45±9.87	57.23±11.36	62.43±13.90	59.83±11.64
	Tear Load (N)	10.51±1.19	12.70±1.42	11.61±2.11	9.91±1.07	11.38±1.81	10.65±1.95
3	Tensile Strength (N/mm ²)	9.10±0.28	14.03±0.49	11.56±3.33	6.02±0.41	10.02±0.99	8.02±2.71
	Elongation (%)	74.83±2.11	187.05±4.48	133.46±44.54	73.86±3.42	125.93± 5.55	99.90±33.10
	Tear Load (N)	12.03±1.64	14.08±1.75	13.05±1.71	11.95±0.80	13.74±1.46	12.75±1.94
4	Tensile Strength (N/mm ²)	49.51±2.34	57.93±4.22	53.72±7.64	43.19±3.59	48.47±4.83	45.83±4.75
	Elongation (%)	35.89±1.56	34.41±2.62	35.15±1.81	21.6±1.38	24.93±1.64	23.26±1.46
	Tear Load (N)	126.03±27.20	151.70±28.08	138.86±35.35	124.25±19.38	149.52±25.24	136.88±27.03
5	Tensile Strength (N/mm ²)	84.77±10.97	164.14±20.39	124.46±34.34	67.01±8.08	140.64±13.68	103.82±35.48
	Elongation (%)	38.19±3.31	44.87±5.68	41.53±5.01	23.00±2.97	28.14±3.00	25.57±3.72
	Tear Load (N)	24.95±2.01	38.36±6.13	31.65±7.61	23.24±1.11	35.20±2.31	29.22±4.01

* Tear load results: Weft direction means weft tear load value on warp direction and warp direction means warp tear load value on weft direction.

Tear strength is the resisting force required to initiate, sustain or propagate a tear under certain conditions. Tear strength is an important factor that determines the strength of the material against the static and dynamic forces on the fabric and against the tension applied in the tear test. During tearing, the yarns break one by one or form groups (Ozdil and Ozelik, 2006). The single edge tear test gives information about the mechanical strength of the leathers in the case of an applied force on a created tear on leather (Nalbant et al., 2016).

When Table 2 was examined for tear load results, it can be seen that the values are very close for all materials numerically. This phenomenon is already visible in Figure 11.

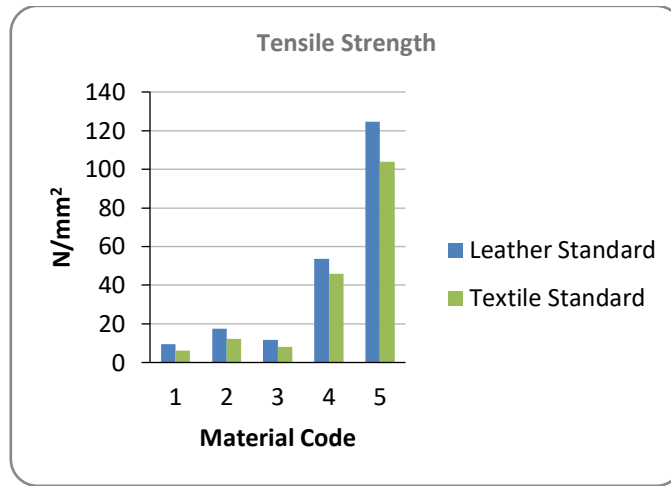


Figure 9. Tensile strength values for leather and textile test standard methods

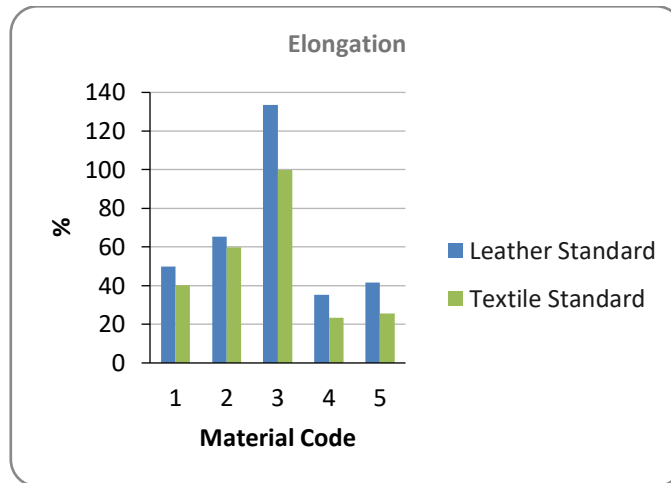


Figure 10. Elongation values for leather and textile test standard methods

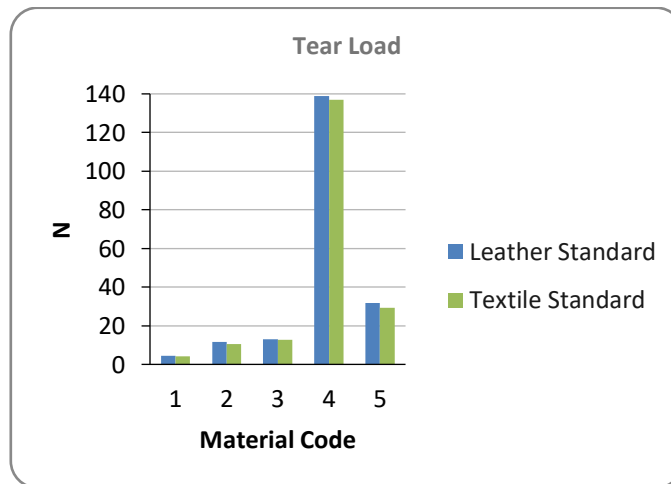


Figure 11. Tear load values for leather and textile test standard methods

In Table 3, when the physical test results of two standard methods are compared for all materials separately as statistically, it is found that tensile strength and elongation test results differed for all materials between test standard methods. However, it is observed that there are parallel results with numerical data, there are no differences between textile and leather test standard method of tear load for all materials.

Table 3. Statistical comparisons of two standard methods*

Code	Tensile Strength (N/mm ²)	Elongation (%)	Tear Load (N)
1	0.044 Diff.	0.045 Diff.	0.195 No diff.
2	0.041 Diff.	0.044 Diff.	0.052 No diff.
3	0.023 Diff.	0.021 Diff.	0.096 No diff.
4	0.045 Diff.	0.000 Diff.	0.142 No diff.
5	0.022 Diff.	0.000 Diff.	0.133 No diff.

*(p<0.05)

4. Result and Discussion

Tensile strength, elongation and tear load tests provide the most used values to describe a material mechanically. It is known that these tests apply different standard methods according to the materials. Considering that woven fabrics consist of weft-warp structures, leather is a combination of collagen fiber bundles and artificial material has a nonwoven structure, these materials are similar to each other but also have very different structural properties.

In this study, two different standard test methods prepared for the materials with these different properties were compared with each other and the following results were obtained:

- The tensile strength, elongation and tear load values of parallel/warp samples were higher for all materials than perpendicular/weft samples.
- In the tensile strength and elongation test results obtained from the leather standard test method were found to be higher than the textile standard test method. The reasons for this can be explained as, when the jaw length was short, probability of coincidence of the deformation area of the material was decrease, thereby increasing the strength value. In addition, the high-strength part of the leather, which is suitable for testing, is located in a small area. When the samples are taken according to the textile standard, the coinciding of the weak places with the sample reduces the strength results. It can be said that due to the nature of the leather, it is less homogeneous than the textile material and the regional strength changes are higher. For this reason, the probability of finding a weak place in the sample increases in the strength measurement for a larger sample.
- Statistically, the difference between the two methods was observed on tensile strength and elongation test results. When measuring the tensile strength and elongation values of expensive textile materials, the leather standard method cannot be applied so that testing cannot be done with smaller-sized samples, because the values are higher than the textile standard.
- Considering the tear load values, no statistical difference was observed between the leather and textile standard test methods for all materials. Because the distance between the jaws does not make much sense in tearing. It only changes the number of torn ends down, that is, the average number of torn ends down increases and more reliable results are obtained, but there is no expectation that it will be higher or lower. Furthermore, when measuring tear load values of expensive textile materials, the leather standard method can be applied thus, fabric consumption can be reduced.

It has been seen that there is no study in the literature comparing leather and textile standard test methods differently. For this reason, this study provides an original and useful contribution to the literature, but also in future studies, different test methods can be compared using different kind of materials.

Acknowledgement

The authors wish to thank Canbol Leather Company for providing materials, Assoc. Prof. Dr. Gamze Süpüren Mengüç, MSc. Ata Kianoosh, MSc. Ahmet Oğuzhan Deliktaş and Leather Engineer Ulaş Kutlu for their valuable efforts in this study.

Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

References

- Balci, H. and Babaarslan O., 2005. Test Hızının Kumaş Kopma Mukavemeti ve Uzaması Sonuçları Üzerindeki Etkisi. *Tekstil ve Teknik*, 238-242.
- Bienkiewicz, K., 1983. *Physical Chemistry of Leather Making*. Krieger Publishing Company, Malabar, FL.
- Breen, D.E., House, D.H., Getto, P.H., 1992. A Physically-based Particle Model of Woven Cloth. *Visual Computer*, 8, 264-277.
- Case, J., Chilver, A., Ross, C.T.F., 1999. *Strength of materials and structures*. Arnold - Hodder Headline Group, London.
- Covington, A.D., 2008. Quo Vadit Chromium? The Future Direction of Tannage. *Journal of the American Leather Chemists Association*, 103, 7-23.
- Daniels, R. and Landmann, W., 2006. *Flat and predictable leather, Back to Basics: A Framework for Leather Manufacture*. World Trades Publishing Limited, Liverpool.
- Fathima, N.N., Balaraman M., Rao J.R., Nair B.U., 2003. Effect of Zirconium(IV) Complexes on the Thermal and Enzymatic Stability of Type I Collagen. *Journal of Inorganic Biochemistry*, 95, 47-54.
- Gurcum, B.H., 2010. Defining the Correlation Between Subjective Assessment and Some of the Physical Properties of the Woven Fabrics. *Textile and Apparel*, 20 (2), 101-108.
- Gurkan Unal, P., Taskin, C., 2007. The Effect of Weave and Densities on Tensile Strength of 100% Polyester Fabrics. *Textile and Apparel*, 17 (2), 115-118.
- Kanth, S.V., Venba, R., Madhan, B., Chandrababu, N.K., Sadulla, S., 2009. Cleaner Tanning Practices for Tannery Pollution Abatement: Role of Enzymes in Eco-Friendly Vegetable Tanning. *Journal of Cleaner Production*, 17, 507-515.
- Kontou, E. and Farasoglou, P., 1998. Determination of the True Stress-strain Behaviour of Polypropylene. *Journal of Material Science*, 33, 147-153.
- Madhan B., Aravindhan, R., Ranjithakumar, N., Venkiah, V., Rao, J.R., Nair, B.U., 2007. Combination Tanning Based on Tara: An Attempt to Make Chrome-Free Garment Leather. *Journal of the American Leather Chemists Association*, 102, 198-204.
- Meyer, M., Dietrich, S., Schulz, H., Mondschein, A., 2021. Comparison of the Technical Performance of Leather, Artificial Leather, and Trendy Alternatives. *Coatings*, 11 (2), 226.
- Mutlu, M.M., Ork, N., Yegin O., Bas S., 2014. Mapping The Variations of Tensile Strength Over the Area of Sheepskin Leather. *Annals of the University of Oradea Fascicle of Textiles Leatherwork*, 15, 157-162.
- Nalbat, S., Onem, E., Basaran, B., Yorgancioglu A., Yilmaz, O., 2016. Effect of Finishing Density on the Physico-Mechanical Properties of Leather. *Journal of Society of Leather Technologists and Chemists*, 100, 84-89.
- Onem E., 2018. Quality Properties of Leather Produced in Water and Supercritical Fluid (SCF) Media. *Journal of CO₂ Utilization*, 23, 75-79.
- Onem, E., Yorgancioglu, A., Karavana, H.A., Yilmaz, O., 2017. Comparison of Different Tanning Agents on the Stabilization of Collagen via Differential Scanning Calorimetry. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 129, 615-622.
- Ork Efendioglu, N., Ozgunay, H., Mutlu, M.M., 2019. Comparison of Conventional and Image Analysis Drapeability Test Methods for Leather. *V. International Leather Engineering Congress (IAFLI)*, 85-88.
- Ork, N., Ozgunay, H., Mutlu, M.M., Ondogan Z., 2014. Comparative Determination of Physical and Fastness Properties of Garment Leathers Tanned with Various Tanning Materials for Leather Skirt Production. *Textile and Apparel*, 24 (4), 414-418.
- Ork, N., Ozgunay, H., Mutlu, M.M., Ondogan Z., 2017. Manufacture of Leather Skirt from Garment Leathers Tanned with Various Tanning Materials and Evaluation of Visual Properties. *Textile and Apparel*, 27 (1), 91-97.
- Ozdil, N. and Ozcelik, G., 2006. A Study on Comparison of Tearing Strength Test Methods of Fabrics. *Textile and Apparel*, 16 (3), 174-179.
- Phebe, K., Thanikaivelan, P., Krishnaraj, K., Chandrasekaran, B., 2011. Influence of Mechanical Properties of Sheep Nappa Leathers on Seam Efficiency. *Journal of the Society of Leather Technologists and Chemists*, 95 (1), 16-22.
- Šomodi, Ž., Zdraveva, E., Brnada, S., 2019. Analysis of Woven Fabric in Asymmetric Tensile Loading Using Parabolic Approximation of Tensile Nonlinearity. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 14, 1-8.
- Sujica, M.Z. and Pinteric, A., 1998. Numerical Evaluation of Fabric Construction Parameters. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 10 (3/4), 191-200.
- Thanikaivelan, P., Shelly, D.C., Ramkumar, S.S., 2006. Gauge Length Effect on the Tensile Properties of Leather. *Journal of Applied Polymer Science*, 101, 1202-1209.
- Urbanija, V. and Gersak, J., 2004. Impact of The Mechanical Properties of Nappa Clothing Leather on the Characteristics of Its Use. *Journal of The Society of Leather Technologists and Chemists*, 88, 181-190.
- Utkun, E. and Ondogan, Z., 2011. Comparison of Jacket Production Processes Designed by Fabric Materials and Leather. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 17 (2), 79-85.



CNC KESİM MAKİNESİ ANA HAREKET SİSTEMİNİN SARSMA KUVVETLERİNİN AZALTILMASI VE BAĞLANTI ÇUBUĞUNUN YAPISAL ANALİZİ

Gürcan ATAKÖK^{1*}, Sezgin BALCI²

¹ Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

² Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İstanbul, Türkiye

Anahtar Kelimeler

*CNC Kesim Makinesi,
Krank-Biyel,
Kütle Dengeleme,
Sarsma Kuvvetleri,
Yapısal Analiz.*

Öz

Krank-biyel mekanizmalarının avantajlarından faydalanılarak tasarlanan kesici sistemler ve diğer hareket sistemleri geniş bir yelpazede kullanım alanı bulmaktadır. Çok katlı serilen tekstil ürünlerini kesmek üzere tasarlanan CNC kesim makinesinin kesim performansının istenen seviyeye gelmesi için hızın artırılması gereklidir. Ancak hızın artması dönen mekanizmalarda dinamik dengeleme problemlerini de beraberinde getirir. Bu çalışmada 6000 d/dk. hızlarda kesim yapabilecek bir mekanizma CAD programında tasarlanıp modellenmiş; sarsma kuvvetlerinin azaltılmasına yönelik dengeleme çalışması da analiz programında test edilmiştir. Dengeleme ağırlığının, kritik rulmanlardaki sarsma kuvvetlerini düşürdüğü sonucu elde edilmiştir.

REDUCTION OF SHAKING FORCES OF CNC CUTTING MACHINE MAIN MOTION SYSTEM AND STRUCTURAL ANALYSIS OF CONNECTING ROD

Keywords

*CNC Cutting Machine,
Crank-Connecting Rod,
Mass Balancing,
Shaking Forces,
Structural Analysis.*

Abstract

Cutter systems and other motion systems designed by taking advantage of the crank-connecting rod mechanisms find a wide range of uses. In order to increase the cutting performance of the CNC cutting machine, which is designed to cut multi-ply textile products, it is necessary to increase the speed. However, the increase in speed brings along dynamic balancing problems in rotating mechanisms. In this study, a mechanism that can cut at speeds of 6000 rpm was designed and modeled in CAD program, balancing work for reducing shaking forces was made and analyzed in engineering simulation program. The results show that the balancing weight reduces the shaking forces in critical bearings.

Alıntı / Cite

Atakök, G., Balci, S., (2023). CNC Kesim Makinesi Ana Hareket Sisteminin Sarsma Kuvvetlerinin Azaltılması ve Bağlantı Çubuğunun Yapısal Analizi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(4), 1580-1593.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

G. Atakök / 0000-0002-5275-2429
S. Balci / 0000-0002-7864-8005

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	16.08.2021
Revizyon Tarihi / Revision Date	11.09.2023
Kabul Tarihi / Accepted Date	07.12.2023
Yayın Tarihi / Published Date	30.12.2023

* İlgili yazar / Corresponding author: gatakok@marmara.edu.tr, +90-216-777 38 90

REDUCTION OF SHAKING FORCES OF CNC CUTTING MACHINE MAIN MOTION SYSTEM AND STRUCTURAL ANALYSIS OF CONNECTING ROD

Gurcan ATAKOK^{1†}, Sezgin BALCI²

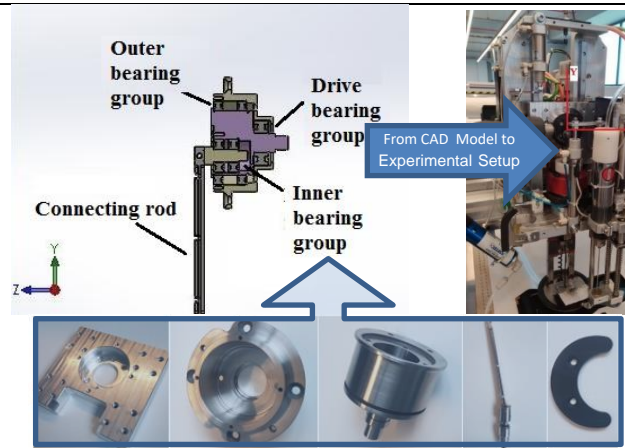
¹Marmara University, Faculty of Technology, Department of Mechanical Engineering, Istanbul, Türkiye

²Marmara University, Institute of Pure and Applied Sciences, Program of Mechanical Engineering, Istanbul, Türkiye

Highlights

- Engineering studies on the development of machines in the field of textile and apparel increase the quality in the ready-made clothing sector
- Dynamic balancing of a cutting mechanism that can operate at a maximum speed of 6000 rpm has been investigated by using a counterweight.
- The use of counterweight partially provides dynamic balancing and reduces the shaking forces

Graphical Abstract



Şekil 1. Deney düzeneği ile kesici mekanizma ve krank hareket grubunun CAD modeli (CAD model of the cutter mechanism and crank movement group with experimental setup)

Purpose and Scope

The performance of the crank-connecting rod mechanism, which is applied in cutting machines of textile materials and preferred due to its good performance, has been associated with the appropriate selection of parameters. In order to see how the connecting rod length, crank length, crank angular velocity, inertia values of the parts affect the system kinetics, methods based on the average of the kinetic parameters are also used. The main purpose of this study is to increase the blade speed and reduce negative vibrations, which are among the factors that increase the cutting quality of the computer aided cutter. In this study, kinematic equations have been created for the movement of the crank connecting rod mechanism used for cutting systems due to its practical advantages.

Design/methodology/approach

The cutting mechanism in the CNC fabric cutter is a mechanism based on the slider-crank system. The cutting mechanism is located in the section called the cutting head. All shapes are automatically cut thanks to the movement of the cutting head in the x-y axis and the 360° rotation capability of the blade.

Findings

In this study, it has been investigated that dynamic balancing of a cutting mechanism that can operate at a maximum speed of 6000 rpm, by using a counterweight. Thus, it is aimed to reduce the shaking forces and to reduce the vibration effects in the outer crank group. Dynamic analyzes were performed with the Ansys/Rigid Dynamics module. The dynamic properties of the counterweight were determined by examining the vibration effects of the different weight values analyzed. The result of the study shows that the use of counterweight partially provides dynamic balancing and reduces the shaking forces.

Originality

Balancing mass optimization done in this way saves time, design flexibility, materials and test times compared to traditional calculation methods. The main motion system of the cutter was redesigned for use in the field, the reaction forces of the critical region were analyzed and balancing work was carried out to reduce vibration.

[†] Corresponding author: gatakok@marmara.edu.tr, +90-216-777 38 90

1. Giriş (Introduction)

Dönme hareketinin lineer harekete ya da lineer hareketin dönme hareketine dönüşümünü sağlayan, en temel sistemlerden olan krank-biyel ya da kaydırıcı-krank mekanizmalarına dayanan makineler hala araştırmacıların çalıştığı karmaşık konular arasındadır (Dang, 2021). Krank-biyel mekanizmalarında dengelenmemiş kuvvet ve momentler, sarsma kuvvetleri olarak bilinmektedir ve sarsma kuvvetleri, makinelerin çalışması sırasında titreşime sebep olmaktadır (Groza, 2016). Oluşan olumsuz titreşimleri yok etmek için çeşitli dengeleme yöntemleri sunulmuştur. Ayrıca kaydırıcı-krank ve buna benzer mekanizmaların yapısal analizlerinde sonlu elemanlar yöntemi Ansys® yazılımı ile uygulanmaktadır. Solidworks® gibi diğer yazılım firmalarının CAD ve analiz paketleri de literatürdeki çalışmalarda kullanılmaktadır (Halicioğlu vd, 2016; Iancu, 2018; Nedelcu vd, 2019).

Birçok kullanım alanı bulunan kaydırıcı-krank sisteminin çok amaçlı ve eşzamanlı mühendisliğe dayalı tasarım optimizasyonu modeli geliştirilmiştir. Model, kinematik ve dinamik denklemler, geometrik ifadeler, üretim ve montaj edilebilirlik kriterleri, yapısal tasarım ve yorulma dayanımı gibi etkenleri barındırmaktadır. Geliştirilen modelin doğruluğu sonlu elemanlar yöntemi ile denetlenmiştir. H. M. Dang ve arkadaşları, model üzerinden meyve ve sebze yıkayıcı bir makinenin hareket sağlayan bölümünün tasarımını yapmıştır. Mekanizma kütlelerinde %3, gerekli güçte %24, dinamik tepkide %25'e varan azalma sağlanmıştır. Modelin tüm makineler için kullanılabileceği belirtilmiştir (Dang, 2021). Yay sistemi kullanılarak dengeleme yapılan başka bir çalışmada da krank-biyel sistemi için dönme (krank) ve ileri-geri (piston) olmak üzere iki hareket tanımlanmıştır. Krank hareketinden kaynaklı dinamik kuvvet karşı ağırlık eklenerek, kaydırıcıdan kaynaklı dinamik kuvvet ise iki yönlü çalışacak şekilde tasarlanmış bir yay ile dengelenmiştir. Kinematik denklemler elde edilip piston için atalet kuvveti hesaplanmıştır. Optimum yay özelliklerini belirlemek için atalet kuvveti, piston yer değişimiyle ilişkili olarak tanımlanmıştır. Piston eksenine paralel yöndeki sarsma kuvvet ve momentlerinde sırasıyla %88 ve %78 azalma olduğu görülmüştür (Groza, 2016).

Genelde düzlemsel krank-biyel mekanizmaları için sarsma kuvvet ve momentlerinin dinamik olarak dengelenmesini sağlayacak bir optimizasyon yönteminin sunulduğu görülmektedir. Bu çalışmalardan birinde mekanizmadaki parçaların atalet etkilerinden oluşan sarsma kuvvetlerinin azaltılması için genetik algoritma kullanılmış, atalet özellikleri eşdeğer nokta-kütle sistemi ile ifade edilmiştir. Geliştirilen optimizasyon tekniğinde tasarım değişkenleri olarak da nokta-kütle parametreleri kullanılmıştır ve mekanizma parçalarının kütle dağılımları optimize edilmiştir. Optimizasyonun formüle edilmesi sırasında yerçekimi gibi dış kuvvetler ihmal edilmiş ve bağlantılar rijit gövde olarak kabul edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre sarsma kuvvetlerinde %46, sarsma momentinde %99 azalma sağlanmıştır (Chaudhary, 2014). Yeni bir metodolojide de düzlemsel krank-biyel mekanizmalarının dinamik olarak dengelenmesi için sarsma kuvvetlerini belirlemede kullanılan sistematik formülasyon elde edilmiştir. Formülasyon, dinamik performansın iyileştirilmesi için kütle dağılımı optimizasyonu sağlamaktadır. Sunulan yöntem, diferansiyel kinematığı ve mekanizma statikini çözmek için Grafik Teorisi, Vida Teorisi ve Kirchhoff yasalarının bir uyarlamasına dayanmaktadır. Yöntemde öncelikle her bağlantının atalet kuvvetleri belirlenir. Ardından sarsma kuvvetlerini çözmek için uygun miktarda optimizasyon değişkeni kullanılır ve bir amaç fonksiyonu oluşturulur. Sarsma kuvvetlerinin hesaplanmasında Matlab kullanılmıştır. Sarsma kuvvetlerinin azaldığı grafiklerle gösterilmiş ve diğer metotlarla kıyaslandığında avantajlı olduğu belirtilmiştir (Frantz vd. 2018). Sadece bir kaydırıcı-krank sistemi ile ileri-geri çalışan makinenin titreşimini azaltmak için birincil ve ikincil atalet kuvvetlerinin dengelendiği, titreşim azaltıcı mekanizmanın tasarlandığı çalışmalarda da dönme ve ileri-geri hareketten oluşan atalet kuvvetleri analitik olarak hesaplanmıştır. Hesaplamalara dayanarak titreşim azaltıcı mekanizma için deney düzeneği oluşturulmuş ve etkinliğin doğrulanması için deneyler gerçekleştirilmiştir. Dikey yönlü ivmenin frekans tepki grafiği ile dengelenmiş ve dengelenmemiş sistem durumları karşılaştırılmış, dengelenmiş sistemin titreşimlerinin azaldığı görülmüştür (Okabe vd, 2011). Kaydırıcı-krank mekanizmasının yay ile dengelenmesini sağlayan farklı bir çalışmada da önerilen yöntem ile mekanizmaya karşı kütle koymadan dengele sağlanması amaçlanmıştır. Kütle eklenmesinin ilave güç gerektirdiği, parçaların yorulmasına sebep olduğu ve ekstra strese maruz kaldığı belirtilmiştir. Yay kuvvetleri ve mekanizma hareketlerini tanımlayan denklemlerden oluşan matematiksel model sunulmuştur. Yapılan tasarım ve sonrasında yapılan simülasyonda sarsma kuvvetlerinin, yaysız duruma kıyasla, azaldığı belirtilmiştir (Groza vd, 2015).

Kesme makinelerinde uygulanan ve iyi performans vermesi dolayısıyla tercih edilen krank-biyel mekanizmasının performansı, parametrelerin uygun şekilde seçimi ile ilişkilendirilmiştir. Biyel uzunluğu, krank uzunluğu, krank açısı, parçaların eylemsizlik değerleri sistem kinetiğini üzerinde nasıl etki bıraktığını görebilmek için kinetik parametrelerin ortalamasına dayanan yöntemler de kullanılmıştır. İleri-geri hareket eden bölümün kütlelerinin ataletinin, bağlantı noktalarındaki tepki kuvvetlerine etki ettiği belirtilmiştir. Belirli bir krank uzunluğuna sahip bir kaydırıcı-krank sisteminde, biyel uzunluğunun belirli bir aralığa kadar artırılması, ortalama iç torkta ve mafsallarda ortaya çıkan reaksiyonların ortalamasında bir azalmaya yol açtığı vurgulanmıştır (Pishvaye vd, 2019). Yük ağırlığı ile birlikte kesme kuvvetleri ve ivmenin etkisiyle oluşacak kuvvetlerin de analizlere dahil edilmesi gerekmektedir (Gülaçtı vd, 2019).

İçten yanmalı bir motorun krank mekanizmasının kuvvet dengelenmesi için yapılan deneysel çalışmada ise farklı bir yöntem geliştirilmiştir. Krank milinin düzensiz dönüşünü dengelemek için genelde volan kullanılır ancak bu

yöntemde volan yerine geçebilecek pnömatik yay mekanizması önerilmiştir. Kranka sıkıca bağlanan pnömatik yaylı kam, şekli dolayısıyla dönme açısına bağlı olarak krankta potansiyel torku belirlemektedir. Tamamen teorik bir çalışma olan dengeleme yönteminin, motor volanının ağırlığını önemli ölçüde azaltacak olan tek silindri iki zamanlı bir motorda kullanılabileceği belirtilmiştir (Zotov vd,2020). Ortamlar için darbe enerjisi artıka maksimum kuvvet de artış göstermektedir (Esendemir vd, 2019)

2. Sistem Özellikleri ve Kinematik Analiz (System Properties and Kinematic Analysis)

2.1. Sistem Özellikleri (System Properties)

Konfeksiyon sektörünün temel iş akış aşamalarından olan kesim işlemleri, otomasyon teknolojilerinin gelişmesiyle CNC kesim makineleri tarafından yapılmaktadır (Çetin, 2011). Tekstil ürünlerinin kesilmesinde birçok farklı yöntem kullanılsa da çok katlı malzemelerin kesiminde genellikle bıçak ile kesme, hız ve kalite açısından ön plana çıkmaktadır (Vilumsone-Nemes, 2018). Kaydırıcı-krank sistemleri kesim makinelerinde oldukça tercih edilen bir sistemdir (Pishvaye Naeeni, 2015; Yang vd. 2015). CNC kumaş kesicide de kesim mekanizması, kaydırıcı-krank sistemine dayanan bir mekanizmadır.



Şekil 1. CNC kumaş kesim makinesi (CNC fabric cutting machine) (Serkon, 2023)

Kesim mekanizması, kesim kafası olarak adlandırılan bölümde yer almaktadır. Kesim kafasının x-y eksenindeki hareketi, bıçağın 360° dönme kabiliyeti sayesinde tüm şekillerin otomatik kesilmesi sağlanmaktadır.

2.2 Ana Hareket Sistemi (Main Motion System)

2.2.1 Kinematik (Kinematics)

Kesicide kullanılan mekanizma şekil 2'deki gibidir. Krank dönme açısı, biyel açısı, dönme yarıçapı, açısal hız, biyel uzunluğu, krank dönme merkezi ile kaydırıcı arası mesafe, krank ağırlık merkezi, biyel ağırlık merkezi sırasıyla α , β , r , ω , l , y , S_1 , S_2 olarak ifade edilmiştir. Sistemin dengelenmesi için kullanılan karşı ağırlık kütlesi A' noktasına ve dönme merkezinden r' (mm) kadar mesafeye konulmuştur.

Mekanizma kinematığında vektörel ve skaler ifadeler aşağıdaki gibidir;

$$\vec{OA} + \vec{AB} = \vec{OB} \quad (1)$$

$$r \cdot \cos \alpha + l \cdot \cos \beta = y \quad (2)$$

$$r \cdot \sin \alpha - l \cdot \sin \beta = 0 \quad (3)$$

Denklem (2) ve (3) kullanılarak istenilen krank dönme açısı ya da biyel açısı değerleri için bıçak konumu belirlenebilir. Bıçak konumu, krank dönme açısı cinsinden yazılacak olursa,

$$\beta = \sin^{-1} \left(\frac{r}{l} \cdot \sin \alpha \right) \quad (4)$$

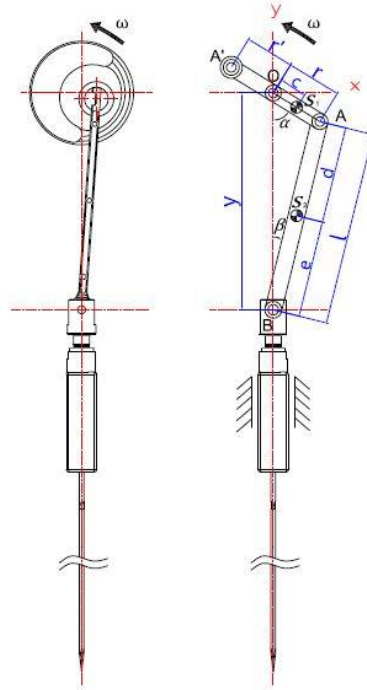
$$r \cdot \cos \alpha + l \cdot \cos \left(\sin^{-1} \left(\frac{r}{l} \cdot \sin \alpha \right) \right) = y(\alpha) \quad (5)$$

$$r \cdot \cos \alpha + l \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{r}{l} \right)^2} \cdot (\sin \alpha)^2 = y(\alpha) \quad (6)$$

Denklemleri elde edilir. İleri-geri harekete katılan kütle için ivme ifadesinin (a) basitleştirilmiş harmonik formülü (Yang vd, 2009);

$$a = r \cdot \omega^2 \cdot \cos \alpha + r \cdot \omega^2 \cdot \frac{r}{l} \cdot \cos 2\alpha \quad (7)$$

Olarak belirtilmektedir.

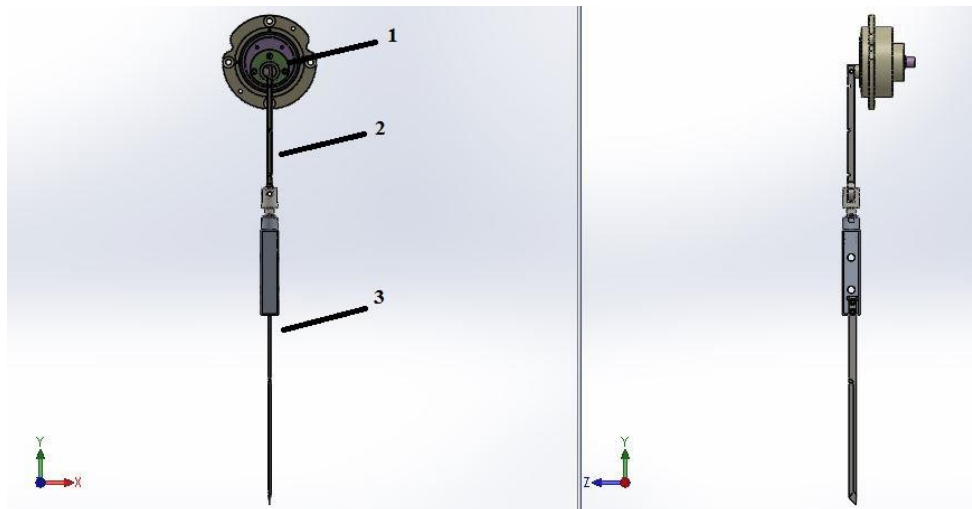


Şekil 2. CNC Kesicinin hareket mekanizması (Movement mechanism of CNC Cutter)

2.2.2 Çalışma Parametreleri ve Hareket Uzuvları (Operating Parameters and Motion Parts)

Elektrik tahrikli salınlı bıçaklarla kesimde, malzemenin yapısına göre 5 mm ile 25 mm arasında bıçak stroğu uygulanmaktadır (Vilumsone-Nemes, 2018). Bu çalışma için strok değeri 20 mm seçilmiştir. Bu mekanizmanın tasarımında bıçak boyunun uzun olmasının getireceği dezavantajları giderebilmek adına yüksek katlı malzemelerin kesilebilmesi için gereken mesafe, biyel kolunun uzatılması ile kazanılmıştır. Biyel uzunluğu 132,5 mm olacak şekilde tasarlanmıştır. Krankın sürekli çalışmasında dönme hızı, n , 6000 d/dk, bu hıza denk gelen açısal hızı, ω , 628,3 rad/sn olmaktadır.

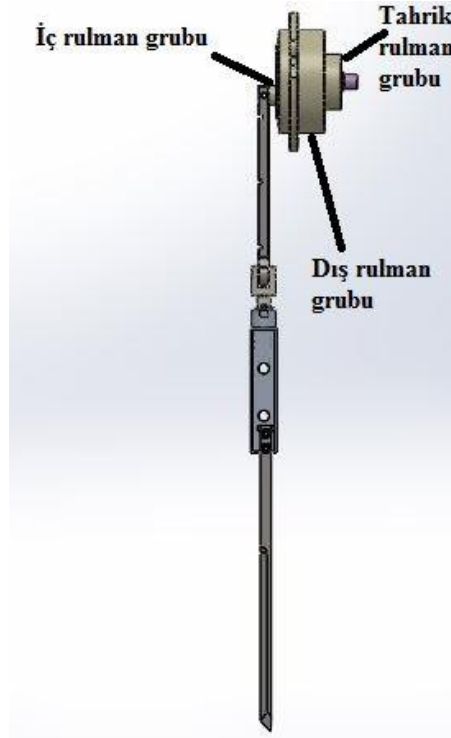
Kesici mekanizmanın SolidWorks CAD programında modellenmiş geometrisi Şekil 3'te gösterilmiştir. Krank (1), biyel (2), kaydırıcı ve bıçak (3) kesici sistemi oluşturmaktadır.



Şekil 3. Kesici mekanizma SolidWorks CAD modeli (Cutter mechanism SolidWorks CAD model)

Kesici mekanizmanın krank hareket grubuna göre tahrik rulman grubundaki rulmanlar dönme hareketini sağlayan motora bağlanan mili desteklemektedir (Şekil 4). İç rulman grubu, biyel kolun bağlantı pimini

desteklemektedir. Dış rulman grubu ise krank hareket grubunda tüm dönen parçaları desteklemektedir ve dinamik dengeleme bu rulman grubunu etkilemektedir.



Şekil 4. Kesici mekanizma rulman grupları (Cutter mechanism bearing groups)

3. Sonuç (Conclusion)

3.1. Sarsma Kuvvetleri Analizi ve Ana Hareket Sisteminin Dengelenmesi (Shaking Force Analysis and Balancing the Main Motion System)

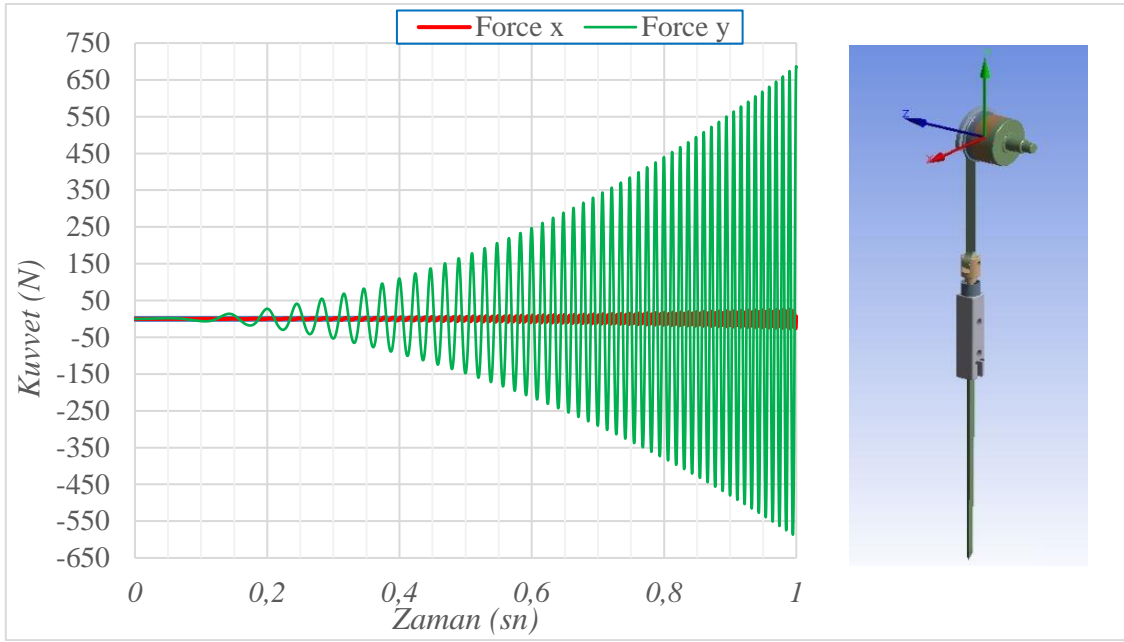
Biyel kol kütlesi hesaplanırken kaydırıcı bağlantılarındaki rulmanların kütleleri, biyel kola ilave edilmektedir. Krankın kütlesi hesaplanırken biyel kol bağlantı pimi kütlesi, iç rulman grubu kütlesi kranka ilave edilmektedir. Biyel kütlesi, m_b , biyel ile krank bağlantı noktasının biyel ağırlık merkezine mesafesi, d , biyel ile kaydırıcı bağlantı noktasının biyel ağırlık merkezine olan mesafesi, e , krank kütlesi, m_c , krank ağırlık merkezinin dönme eksenine olan mesafesi, c , ileri-geri hareket eden öğelerin toplam kütlesi, m_k olarak Tablo 1'de belirtilmiştir.

Tablo 1. Elde edilen değerler (Obtained values)

m_b (g)	24,84
d (mm)	73,44
e (mm)	59,06
m_c (g)	453,63
c (mm)	1,71
m_k (g)	143,97

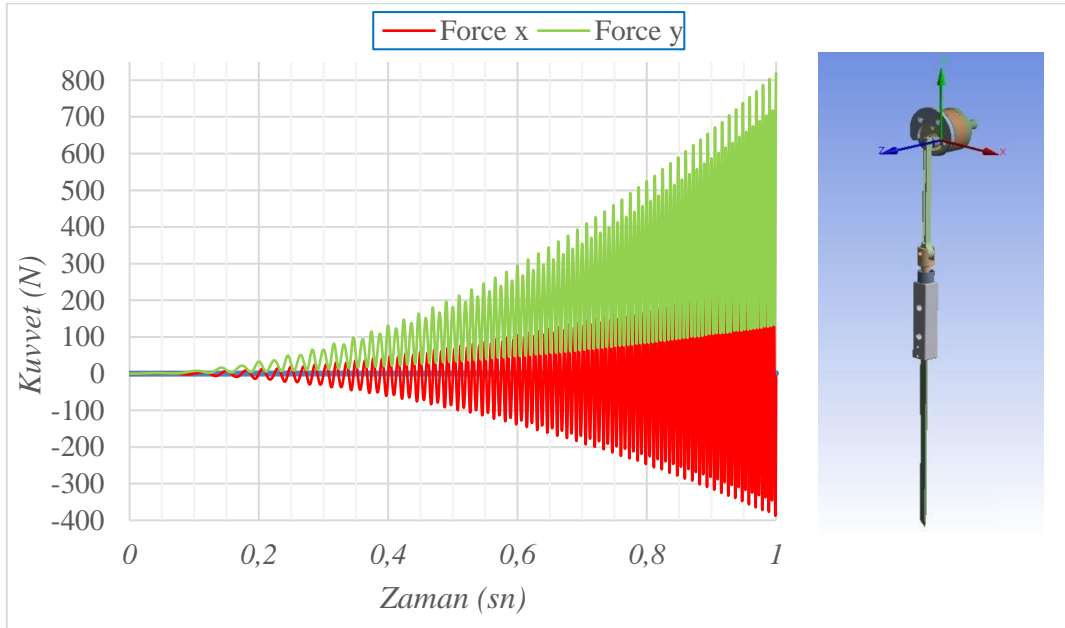
Kesici mekanizmada kritik rulmanlar için Ansys analiz programı ile sarsma kuvvetleri analizleri gerçekleştirilmiştir. Analiz, gerçek çalışma şartlarına uygunluğu açısından, mekanizmanın 1 saniye içerisinde 0'dan maksimum çalışma hızı olan 6000 d/dk hızına ulaşacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Tasarımın dengelenmemiş durumunda elde edilen sonuçlar şekil 5 ve 6 da gösterilmiştir.

Dış rulman grubunda, dengeleme ağırlığı olmadan, x ve y eksenlerinde meydana gelen sarsma kuvvetleri dikkate alındığında Y eksenindeki maksimum sarsma kuvvetleri 695N ve -590N arasındadır (Şekil 5). X eksenindeki maksimum kuvvetlerin ise 26N ve -26N aralığında dalgalandığı görülmektedir. Mekanizmadaki dinamik dengesizlikten kaynaklanan sarsma kuvveti y ekseninde, x eksenine göre daha fazla gerçekleşmiştir. Bu durumdan, mevcut tasarımdaki hareketli kısımların kütle merkezinin y eksenine üzerinde gezdiği anlaşılmaktadır.



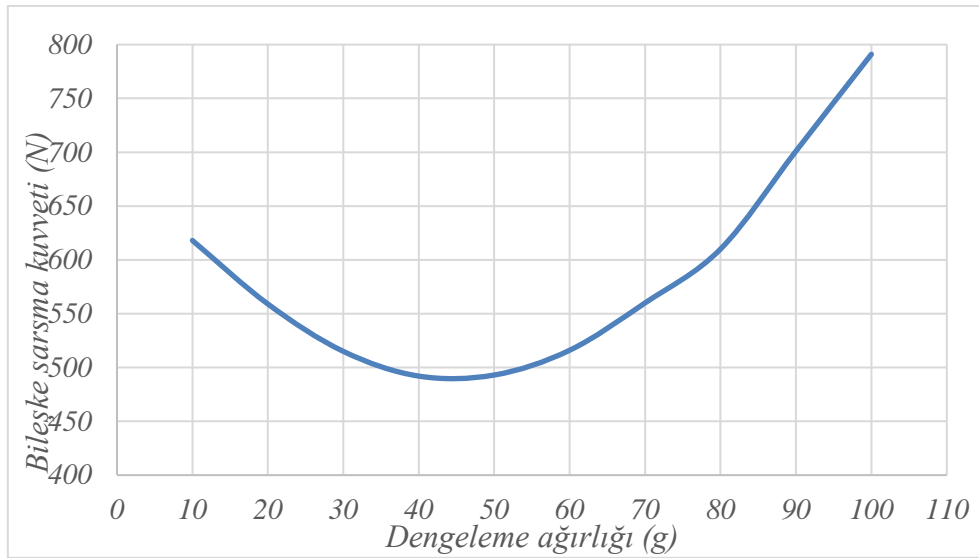
Şekil 5. Dış rulman grubu sarsma kuvvetleri-dengelenmemiş sistem (External bearing group shaking forces - unbalanced system)

Biyel kolun kranka bağlandığı iç rulman grubunda, dengeleme ağırlığı olmadan, x ve y eksenlerinde meydana gelen sarsma kuvvetleri Şekil 6'da gösterilmektedir. Y ekseninde 820N ile 130N aralığında gerçekleşen sarsma kuvvetleri, x ekseninde 290N ile -390N aralığında gerçekleşmiştir. Kuvvetlerin negatif ve pozitif değerleri, referans alınan koordinat sistemine göre kuvvet yönlerini ifade etmektedir. Z ekseninde meydana gelen kuvvetler, çok küçük ve titreşim üzerindeki etkisi de az olduğundan, ihmal edilmiştir.



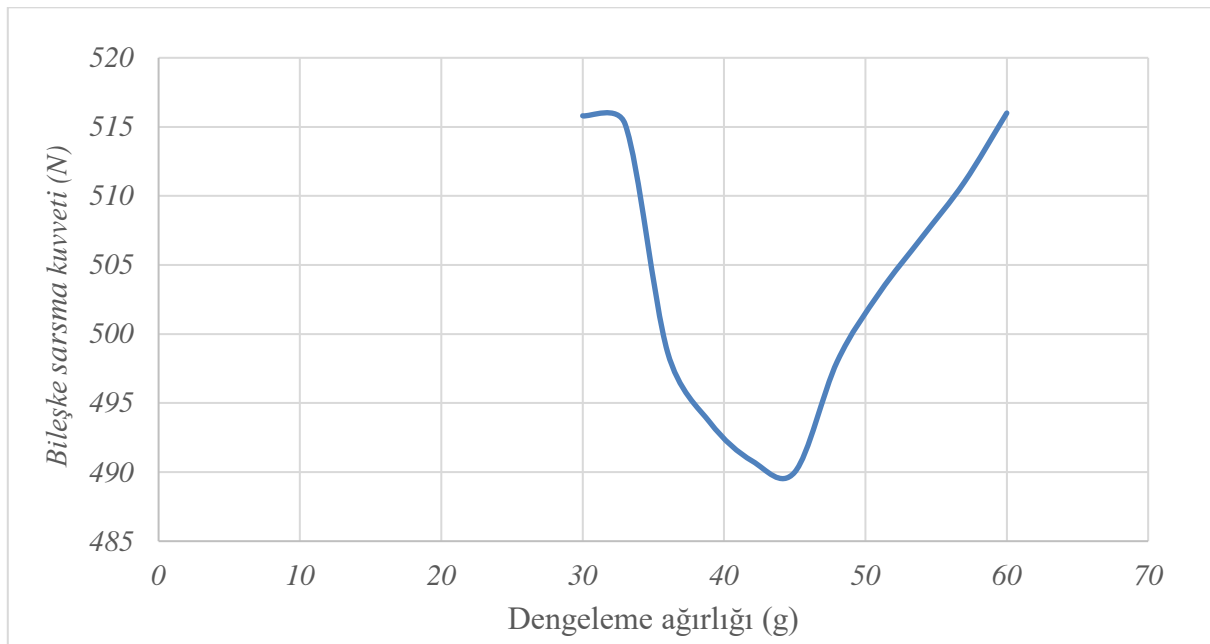
Şekil 6. İç rulman grubu sarsma kuvvetleri-dengelenmemiş sistem (Inner bearing group shaking forces - unbalanced system)

Dinamik dengeleme yapılırken, krank hareket grubunun en dışında bulunan dış rulman grubundaki sarsma kuvvetlerinin değişimi dikkate alınmış ve buradaki kuvvetlerin azaltılması amaçlanmıştır. Analizin hızlı ve anlaşılır olması amacıyla, karşı ağırlık için 10 g ile 100 g aralığında 10 farklı değer için dengeleme analizi gerçekleştirilmiş ve dış rulman grubundaki bileşke sarsma kuvvetinin değişimi incelenmiştir. Bileşke sarsma kuvvetinin düşük olduğu aralık 30 g ile 60 g olarak bulunmuştur (Şekil 7). Bu aralık için dengeleme ağırlığı, önceki analize göre daha küçük değerlerde artırılarak yeni bir analiz gerçekleştirilmiştir.



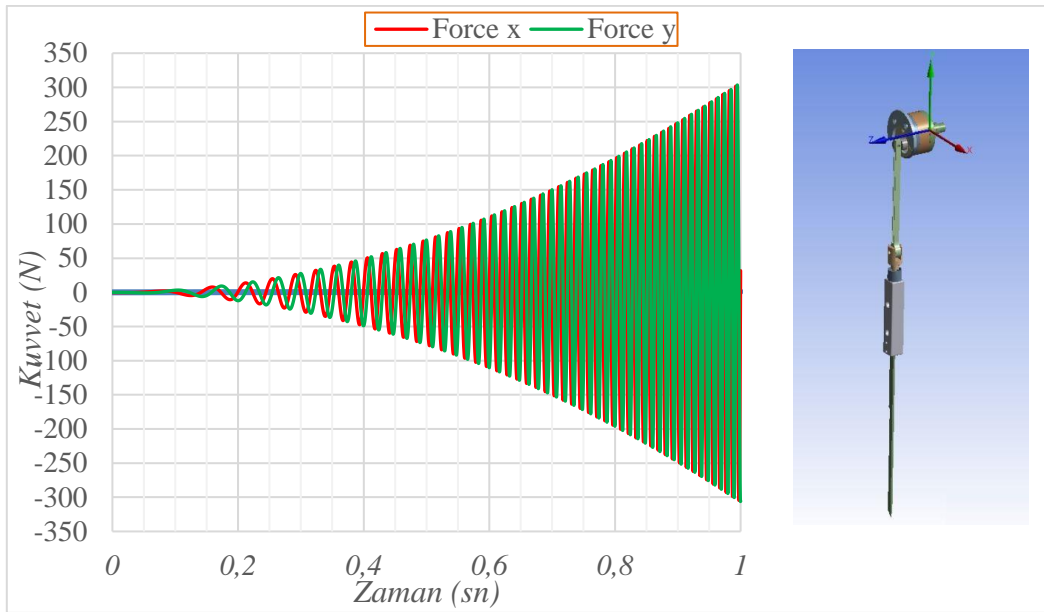
Şekil 7. Dış rulman grubunun değişen dengeleme ağırlıklarına göre bileşke sarsma kuvveti (Resultant shaking force according to changing balancing weights of the outer bearing group)

Dengeleme ağırlığı optimum değerine yaklaştıkça bileşke sarsma kuvveti 515N'den 490N'a kadar düşmektedir (Şekil 8). Dinamik dengelemenin sağlandığı dengeleme ağırlığı 42 g'a denk gelmektedir. $r' = 12,7mm$ olacak şekilde dengeleme ağırlığı konumlandırılmıştır ve mekanizma için optimum denge konumu olmaktadır. Kesici mekanizmanın dengelenmesinin ardından yapılan dinamik analizlerle elde edilen grafikler şekil 9, 10 ve 11'de gösterilmiştir.



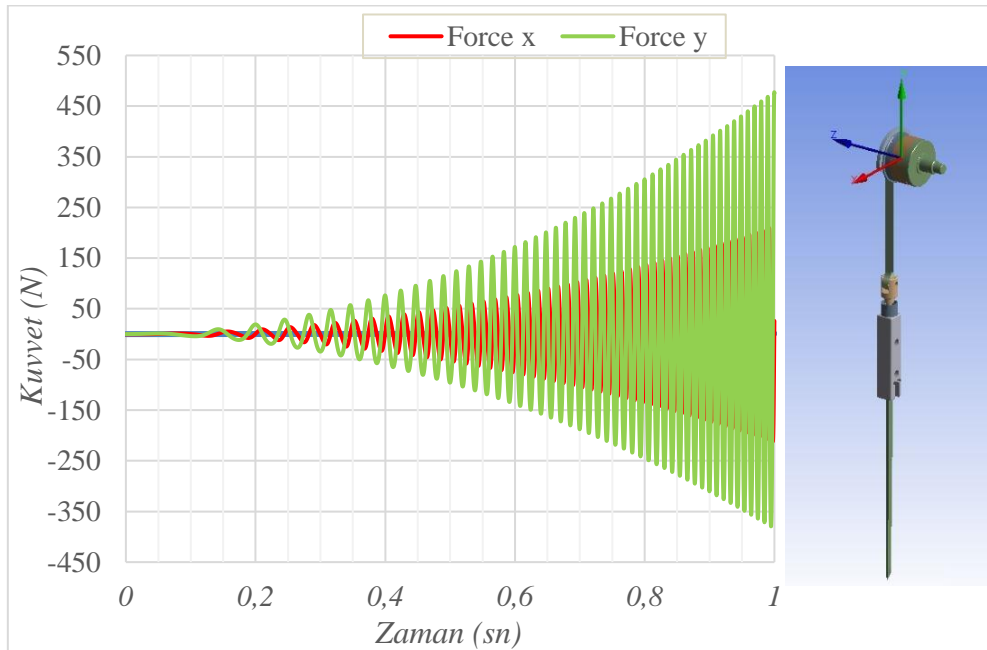
Şekil 8. Dış rulman grubunun küçültülerek değişen dengeleme ağırlıklarına göre bileşke sarsma kuvveti (Resultant shaking force according to balancing weights changing by reducing the size of the outer bearing group)

Tahrik rulman grubunda meydana gelen tepki kuvvetleri detaylı incelendiğinde motor bağlantısının yapıldığı bölümde eksantriklik olmadığından +300N ve -300N arasında dalgalanma olmaktadır (Şekil 9). Dolayısıyla mekanizmadaki dengesizlikten minimum seviyede etkilenmektedir.



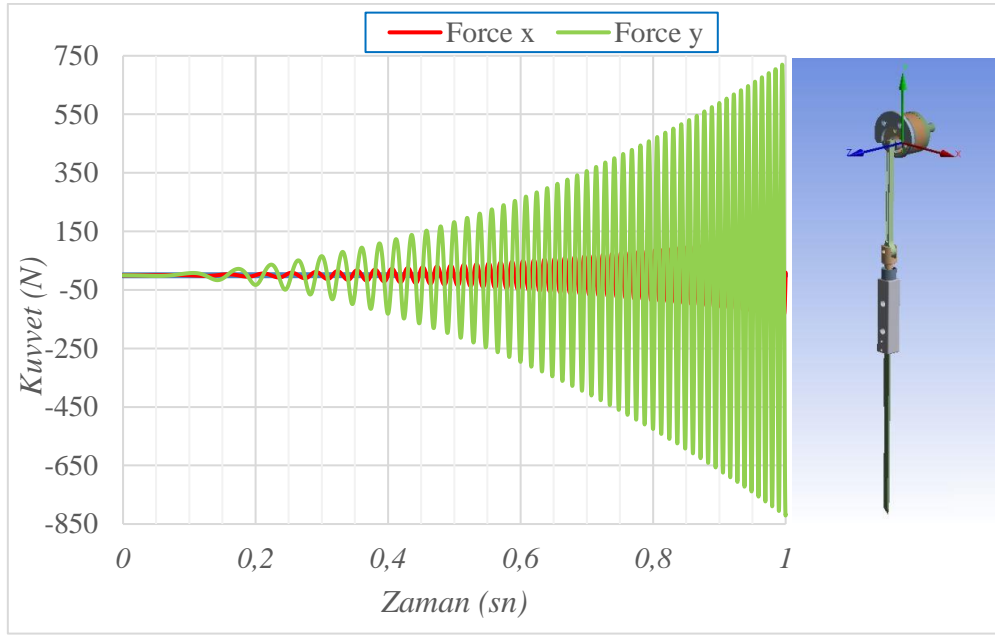
Şekil 9. Tahrik rulman grubu sarsma kuvvetleri-dengelenmiş sistem (Drive bearing group shaking forces-balanced system)

Dengelenmiş mekanizmanın dış rulman grubu sarsma kuvvetleri Şekil 10'da ifade edilmiştir. Y ekseninde 480N ile -380N aralığında dalgalanmaktadır. Şekil 5'teki dengelenmemiş sarsma kuvvetleri ile karşılaştırıldığında (695N ve -590N) hem kuvvetleri hem de dalgalanma aralığı, dengeleme ağırlığı ile azalmaktadır. X eksenine sarsma kuvveti 210N ile -210N aralığındadır. Şekil 5'teki dengelenmemiş duruma göre ise (26N ve -26N) artış olmuştur. Bunun nedeninin, dengeleme ağırlığının eklenmesiyle mekanizmanın kütle merkezinin değişerek y eksenindeki azalan sarsma kuvvetinin x eksenine dağılımı olduğu düşünülmektedir.



Şekil 10. Dış rulman grubu sarsma kuvvetleri-dengelenmiş sistem (External bearing group shaking forces-balanced system)

Şekil 11'deki grafikte görülen, dengelenmiş mekanizma iç rulman sarsma kuvvetleridir ve y ekseninde 720N ile -820N aralığında, x ekseninde 130N ile -130N aralığındadır. Şekil 6'daki grafikte karşılaştırıldığında y eksenindeki dalgalanma aralığının arttığı, x ekseninde ise hem aralığın hem de kuvvetlerin azaldığı görülmüştür.



Şekil 11. İç rulman grubu sarsma kuvvetleri-dengelenmiş sistem (Internal bearing group shaking forces-balanced system)

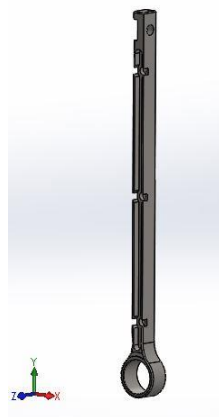
3.2. Biyel Kol için Yapısal Analiz (Structural Analysis of Connecting Rod)

Kesme mekanizmasının önemli parçasından biri olan biyel kol hem dönme hareketine hem ileri-geri harekete katılmaktadır. Dolayısıyla bu parçanın tasarımı ve üzerindeki gerilmeler, sistemin uzun ömürlü olması için kritiktir.

Tablo 2. DIN 40CrMnNiMo8-6-4 için mekanik özellikler (Mechanical properties for DIN 40CrMnNiMo8-6-4)

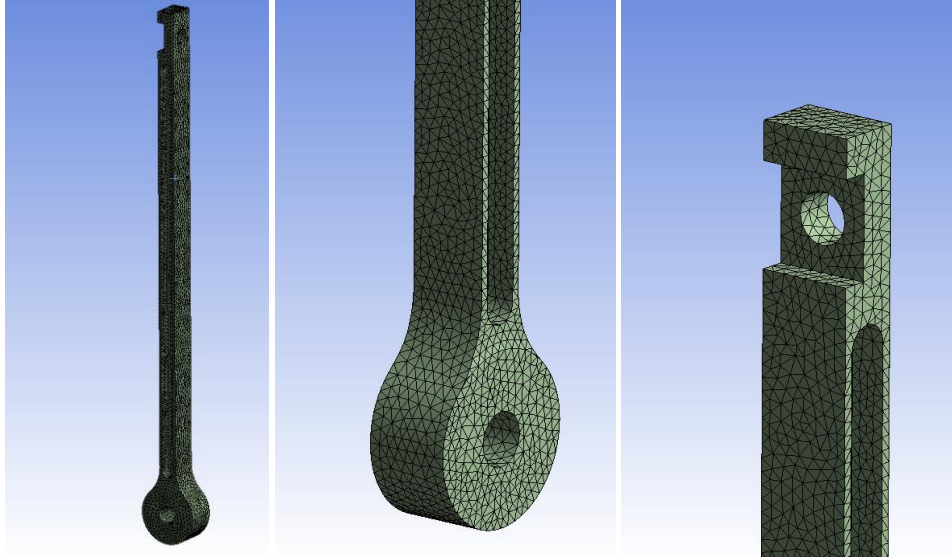
Akma Mukavemeti (Mpa)	980
Gerilme Mulavemeti (Mpa)	1100
Yoğunluk (g/cm^3)	7,8
Elastisite Modülü (kN/mm^2)	205

Biyel kolun SolidWorks 3D CAD modeli Şekil 12'de gösterilmiştir. Malzeme olarak işlenebilirliği, homojen yapısı ve tüm kesit boyunca aynı sertlik özelliklerine sahip olabilmesi dolayısıyla DIN 40CrMnNiMo8-6-4 takım çeliği kullanılmıştır.



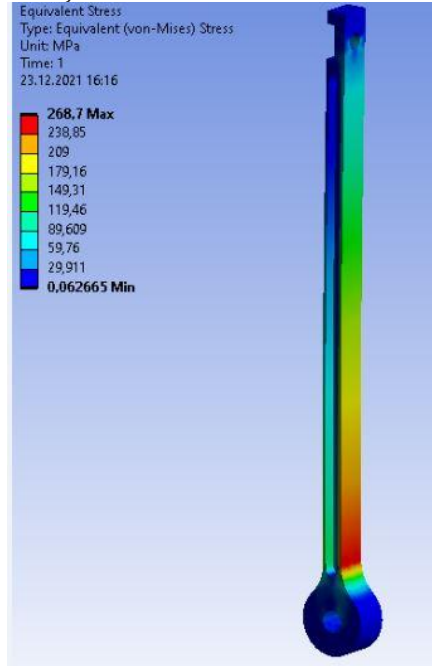
Şekil 12. Biyel kol SolidWorks CAD modeli (Connecting rod SolidWorks CAD model)

Şekil 13, analize hazırlanan model ve mesh yapısını göstermektedir. Analiz kolaylığı açısından model üzerinde bazı sadeleştirmeler yapılmış, delik ve pah gibi unsurlar giderilerek mesh ağ yapısı oluşturulmuş ardından analiz gerçekleştirilmiştir.



Şekil 13. Biyel kol mesh yapısı (Connecting rod mesh structure)

Ansys programındaki mesh kontrol metotlarından skewness metoduna göre average değeri 0.5 in altında olduğundan mesh kalitesi yeterli bulunmuştur.

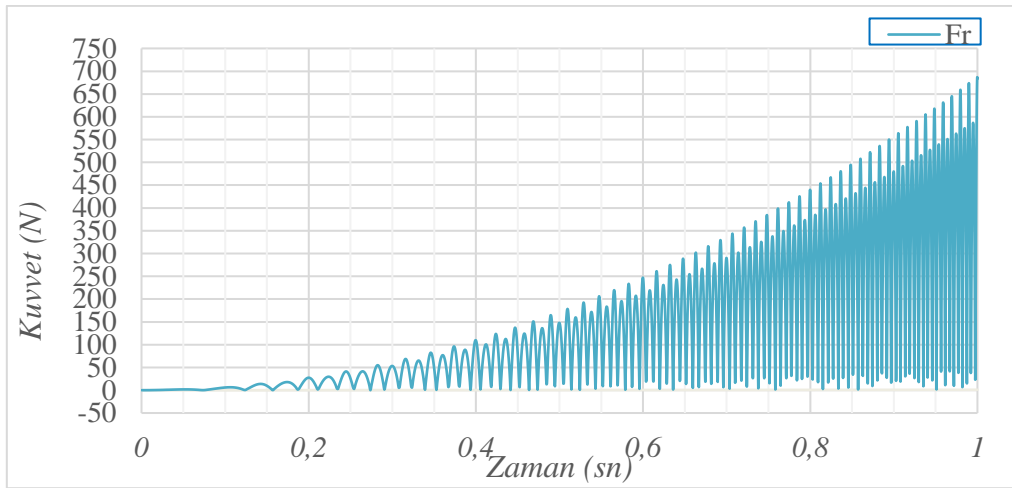


Şekil 14. Biyel kol eşdeğer gerilmeler (Connecting rod equivalent stresses)

Analiz sonucuna göre max. eşdeğer gerilme 268,7 Mpa olarak görülmüştür (Şekil 14). Bu değer, malzemenin mekanik özellikleri ile karşılaştırıldığında (Tablo 2), akma değerinin altındadır. Dolayısıyla tasarım olarak uygunluğu doğrulanmıştır.

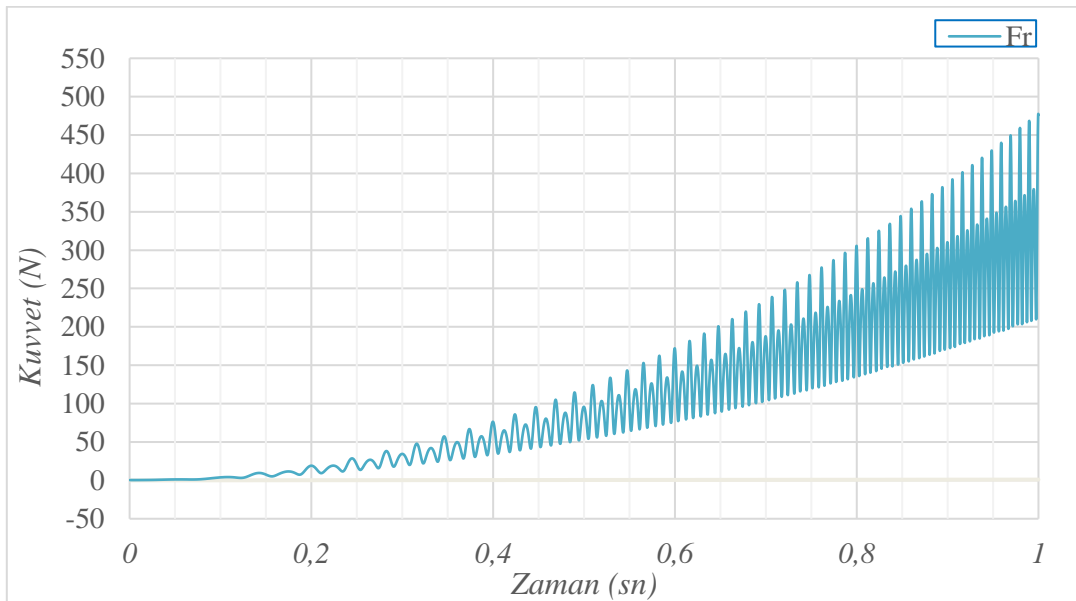
3.3. Titreşimlerin Azaltılması (Reducing Vibrations)

CNC kesicinin ana hareket sisteminin 6000 d/dk hızında çalışması sırasındaki titreşimin azaltılması için dinamik dengeleme ve optimizasyonu çalışmasında Ansys programı kullanılmıştır. Kesici mekanizmasının bilgisayar ortamında yapılan dinamik analizleriyle kritik bölgedeki rulmanlarda oluşan sarsma kuvvetleri analiz edilmiştir. Dengelenmemiş mekanizmanın dış rulman grubundaki radyal kuvvet (F_r) grafiğidir ve max. 700 N seviyesinde gerçekleşip ve 0 ile 700 N aralığında değişmektedir (Şekil 15).



Şekil 15. Dış rulman grubu bileşke sarsma kuvveti grafiği-dengelenmemiş sistem (Resultant shaking force graph of outer bearing group - unbalanced system)

Dinamik dengesi sağlanmış mekanizmanın dış rulman grubu radyal kuvvet de Şekil 16'da elde edilmiştir. Radyal kuvvet, dengelemenin ardından max. 480 N düzeyine kadar gerilemiş ve 210 N ile 480 N aralığında değişkenlik göstermiştir.



Şekil 16. Dış rulman grubu bileşke sarsma kuvveti grafiği-dengelenmiş sistem (Outer bearing group resultant shaking force chart - balanced system)

Bu iki grafik karşılaştırıldığında dengelemeden sonra dış rulman grubu max. bileşke sarsma kuvvetinde %31,4 ve dalgalanma aralığında %38,5 düşüş gerçekleşmiştir. Krank mekanizmalarının tam olarak dengelenemediği, kısmen bir dinamik dengenin sağlanabildiği görülmüştür ve bu beklenen bir sonuçtur (Zotov vd, 2020; Li vd, 2019). Dönen kütlelerin dengelenmesinde karşı ağırlık kullanılmaktadır (Groza, 2006; Pishvaye, 2009; Li, 2009). Karşı kütlelerin ağırlığı ve konumlandığı mesafe, krank-biyel bağlantı noktasına indirgenen toplam dönen kütleyle dinamik olarak eşit olduğunda dengeleme sağlanmaktadır (Uicker vd, 2017). Dolayısıyla bulgular, literatürdeki çalışmalarla örtüşmektedir.

Bununla birlikte mekanizma tasarımında rulmanların seçimi kritik öneme sahiptir. Rulman seçiminde aksel ve radyal yükler dikkate alınmaktadır (Kaçal vd, 2003). Analiz sonucu elde edilen F_r değeri, tasarımda doğru, uzun ömürlü ve çalışma süresinin daha doğru hesaplanabildiği bir rulman seçimine imkan sağlamaktadır.

3.4. Deneysel Kurulum (Experimental Setup)

Dengeli kesim mekanizması CNC Kesici ile uyumlu olacak şekilde tasarlanmış olup, montajı yapılan kesim mekanizmasının ana parçaları aşağıdaki gibidir. Şekil 17'de sırasıyla kesici mekanizma kızıağı, krank dış yatağı ve krank mili, biyel kolu tertibatı ve balans ağırlığı.



Şekil 17. Kesici mekanizma parçaları (Cutter mechanism parts)

Titreşim ölçer, kesici mekanizmanın dönen kısmının en dıştaki yatağı olan krank dış yatağına, ölçüm X eksenini yönünde alınacak şekilde takılmıştır. Mekanizmanın X-Y eksenleri Şekil 18'de gösterilmiştir.

Kesici mekanizmanın tasarımından sonra kinematiği, sarsma kuvvetleri, dengeleme ve doğal frekans analizleri yapılmıştır. Daha sonra deney düzeneği kurularak titreşim ölçümü yapılmıştır. Bulgular, dengeli ve dengesiz durumlar açısından analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, mekanizmanın dengelenmesinin titreşimin azaltılmasında belirleyici olduğunu göstermiştir. Deneysel çalışmada elde edilen titreşim verileri maksimum değerler dikkate alınarak değerlendirilmiştir.



Şekil 18. Deneysel kurulum ve titreşim ölçümü (Experimental setup and vibration measurement)

4. Değerlendirme ve Öneriler (Evaluation and Suggestions)

Bu çalışmada, maksimum 6000 rpm hızda çalışabilen bir kesme mekanizmasının karşı ağırlık kullanılarak dinamik olarak dengelenmesi incelenmiştir. Böylece dış rulman grubundaki sarsma kuvvetlerinin azaltılması ve titreşim etkilerinin azaltılması hedeflenmiştir. Ansys/Rigit Dynamics modülü ile dinamik analizler yapılmıştır. Karşı ağırlığın dinamik özellikleri, analiz edilen farklı ağırlık değerlerinin titreşim etkileri incelenerek belirlenmiştir. Çalışmanın sonucu, karşı ağırlık kullanımının kısmen dinamik dengeleme sağladığını ve sarsma kuvvetlerini azalttığını göstermektedir. Bulgular literatürdeki çalışmalarla paralellik göstermektedir.

Bu şekilde yapılan dengeleme kütle optimizasyonu, geleneksel hesaplama yöntemlerine kıyasla zamandan, tasarım esnekliğinden, malzemelerden ve test sürelerinden tasarruf sağlamaktadır. İleride yapılacak çalışmalarda bu tasarım ve analizlerin bilgisayarda denenmesi, mekanizmanın üretilmesi ve sahada ölçümlerin alınması ile ürünün ticarileşmesine fayda sağlayacak bir sonuç elde edilecektir.

Analizler kinematik, sarsma kuvvetleri ve dengeleme optimizasyonu sırasına göre yapılmıştır. Kesici bıçağın konum, hız ve ivme değerleri kinematik analiz ile elde edilmiştir. Bıçak konumu, krank yarıçapının iki katı olacak şekilde gerçekleştirilmiş ve 20 mm'lik bir strok elde edilmiştir. Maksimum hız 6,5 m/s, maksimum ivme 4500 m/s² olmuştur.

Krank grubu için sallama kuvvetleri analizi yapılmıştır. Dinamik dengeyi sağlayan en uygun karşı ağırlığın 42 g ve dönme merkezine olan mesafesinin 12,7 mm olacağı sonucuna varılmıştır. Daha sonra karşı ağırlıklı ve karşı ağırlıksız analizler yapılmış ve sarsma kuvvetleri incelenmiştir. Dış yatak grubu için elde edilen radyal kuvvetler, dengeleme etkisi ile %31,4 oranında azalmıştır.

Mekanizmanın modal analizi yapılarak, doğal frekansın gerçekleştirilebileceği dönme döngüleri incelenir. Analiz açısından ilk 6 modun incelenmesi yeterli olur. Böylece mekanizma çalışması sırasında hangi devirlerde doğal frekans ile çakışabileceği görülür.

Deney düzeneği ve titreşim ölçümü iki durum için karşılaştırılmıştır: Dengesiz (karşı ağırlıksız) ve Dengeli (karşı ağırlıklı). Ölçüm sonuçlarını karşılaştırmak için 5000 rpm hızda çalışarak inceleme yapılmıştır. Ölçüm cihazının özelliklerinden dolayı genel makine titreşiminin 'mm/s' cinsinden ölçülmesini sağlamıştır. Ölçüm sonunda balanssız durumda 71 mm/sn olarak elde edilen titreşim değeri dengeli durumda 30 mm/sn olarak bulunmuştur. Bu nedenle dinamik balanslama sonucunda makine titreşimi %57,7 oranında azalmıştır.

Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışmanın yapılması sırasındaki desteğinden dolayı Serkon Makina Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi'ne 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)

- Chaudhary K. and Chaudhary, H. (2014) Optimum Balancing of Slider-crank Mechanism Using Equipomental System of Point-masses, in *2nd International Conference on Innovations in Automation and Mechatronics Engineering*, vol. 14, pp. 35– 42, doi: 10.1016/j.protcy.2014.08.006.
- Çetin, M. S. (2011). Bilgisayar destekli bıçaklı bir kesici sistemin çalışma prensibinin analizi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye.
- Dang H. M. et al. (2021), Development of a Generalized Mathematical Model for Slider-Crank Mechanism Based on Multiobjective Concurrent Engineering with Application, *Arabian Journal for Science and Engineering*, vol. 46, no. 8, pp. 8037–8053, doi: 10.1007/s13369-021-05627-2.
- Esendemir, Ü. & Karaca, H. (2019). DÜŞÜK HIZLI DARBE YÜKÜNE MARUZ KOMPOZİT PLAKALARA ASİDİK ORTAMIN ETKİSİ, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 7 (1), 26-33 . DOI: 10.21923/jesd.402295
- Frantz, J. C. Mejia Rincon, L. Simas, H. and Martins, D. (2018) A new methodology for the balancing of mechanisms using the Davies method, in *Mechanisms and Machine Science*, Oct. vol. 54, pp. 203–212, doi: 10.1007/978-3-319-67567-1_19.
- Groza, D. (2016), Balancing of a Slider-Crank Mechanism by Using a Counter Mass and a Progressive Spring with Two Rates, *Applied Mechanics and Materials*, vol. 823, pp. 37–42, doi: 10.4028/www.scientific.net/amm.823.37.
- Groza, D. and Antonya, C. (2015) Dynamically Spring Balanced Slider-Crank Mechanism for Reciprocating Machines, *International Journal of Mechanical Engineering*, vol. 2, no. 6, pp. 22–26, doi: 10.14445/23488360/ijme-v2i6p109.
- Gülaçtı, S. & Durak, E. (2019). Beş Eksenli Köprü Tipi CNC Mermer İşleme Makinesi Tasarımı ve İmalatı, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 7 (2), 282-293 . DOI: 10.21923/jesd.458118
- Halicioğlu, R. Dulger, L. C. and Bozdana, A. T. (2016) Structural design and analysis of a servo crank press, *Engineering Science and Technology, an International Journal*, vol. 19, no. 4, pp. 2060–2072, doi: 10.1016/j.jestch.2016.08.008.
- Iancu, C. (2018) About Animation in Motion Studies in Solidworks, *Fiabilitate Durabilitate*, vol. 1, no. 21, pp. 228–231.
- Kaçal, A. Işık, A. and Erginli, M. (2003) Bilgisayar destekli rulman seçimi, *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, no. 4, pp. 239–254.
- Li, X. Chen, H. Ye, Z. Guo, H. and Zou, T. (2019). Dynamic balance optimization of the cutting head for flexible materials based on solidworks, *UPB Scientific Bulletin, Series D: Mechanical Engineering*, vol. 81, no. 3, pp. 3–14.
- Nedelcu, D. Gillich, G.-R. Biro, I. Korka, Z.-I. and Gerocs, A. (2019) The study of the punching cards mechanism with SolidWorks Motion, *Analele Universitatii Eftimie Murgu*, vol. 26, no. 1, pp. 181–190.
- Okabe, T. Hamahata, T. Iwabata, T. and Kajiyama, N. (2011) Vibration Reduction for Reciprocating Machine with Single-Slider-Crank Mechanism, in *The Proceedings of Conference of Kyushu Branch*, pp. 99–100.
- Pishvaye Naeeni, I. Keshavarzi, A. and Fattahi, I. (2019) Parametric Study on the Geometric and Kinetic Aspects of the Slider-Crank Mechanism, *Iranian Journal of Science and Technology - Transactions of Mechanical Engineering*, vol. 43, no. 3, pp. 405–417, doi: 10.1007/s40997-018-0214-5.
- Serkon, 2023. Serkon Makina Ürün Broşürleri, www.serkonmakina.com (accessed Oct. 07, 2023).
- Uicker, J. J. Pennock, G. R. and Shigley, J. E. (2017). *Theory of Machines and Mechanisms*, 5th ed. Oxford University Press.
- Vilumsone-Nemes, I. (2018) Automated cutting of textile materials, in *Industrial Cutting of Textile Materials*, 2nd ed., Elsevier Science, pp. 115–150.
- Vilumsone-Nemes, I. (2018) Automation in spreading and cutting, in *Automation in Garment Manufacturing*, Elsevier Ltd, pp. 139–164.
- Yang, C. Hao, Z. and Zheng, G. (2009). Balance Mechanism Design of Single Cylinder Engine Based on Continuous Mass Distribution of Connecting Rod, *Transactions of Tianjin University*, vol. 15, no. 4, pp. 255–259, doi: 10.1007/s12209-009-0045-y.
- Yang, Z. Pan, X. Wang, Y. and Tang, W. (2018) Kinematics and dynamics analysis of the main motion system of reciprocating machine tools, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 394, no. 3, doi: 10.1088/1757-899X/394/3/032067.
- Zotov, A. Sviridov, A. and Valeev, A. (2020). Stabilization of the Torque on the Shaft of a Statically Balanced Crank Mechanism, doi: 10.1109/DVM49764.2020.9243882.



ATIK BİTKİ POSALARINDAN ELDE EDİLEN DOĞAL BOYARMADDE İLE YÜN BOYAMA

Enfal KAYAHAN^{1*}, Mustafa KARABOYACI², Mehmet DAYIK

¹ Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Denizli, Türkiye

² Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Mordan, Tekstil, Doğal Boyarmadde, Yün, Endüstriyel Bitkisel Atık, Haslık.</i>	Bu çalışmada, bitkisel atıklardan elde edilen boyarmaddelerin yün lifini boyama performansı araştırılmıştır. Boyarmadde kaynağı olarak biberiye ve vişne posaları kullanılmış her bitkisel atık türü için optimum ekstraksiyon ve optimum boyama zamanları belirlenmiştir. Optimum şartlarda boyanan numunelerin CIE-Lab renk uzayı değerleri ölçülmüş, yıkama ve sürtmeye karşı haslık testleri yapılmıştır. Çalışma sonunda, sarı, açık ve koyu yeşil tonları ile pudra renk tonları elde edilmiş, numunelerin yıkamaya karşı haslık değerleri en yüksek 5, en düşük 3/4 olarak, sürtme haslığı değerleri ise en yüksek 5 en düşük 4 olarak tespit edilmiştir.

DYEING OF WOOL WITH NATURAL DYE OBTAINED FROM PULPS OF PLANTAL WASTE

Keywords	Abstract
<i>Mordant, Textile, Natural Dyestuff, Wool, Industrial Vegetable Waste, Fastness.</i>	Abstract: In this work, it was studied that the dyeing performance of dyestuff obtained from herbal wastes. Rosemary and cherry pulp were used as natural dye source. Optimum extraction times and optimum dyeing times were determined for each waste. Color measurements (CIELab coordinates) were evaluated and washing, rubbing fastness tests were performed for dyed samples on optimum conditions. At the end of the study, yellow, light and dark shades of green and pink-powder color tones were obtained. Washing fastness values of the samples were determined as the highest 5, the lowest 3/4, and rub fastness values were determined the highest 5 and the lowest 4.

Alıntı / Cite

Kayahan, E., Karaboyacı, M., Dayık, M., (2023). Atık Bitki Posalarından Elde Edilen Doğal Boyarmadde ile Yün Boyama, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(4), 1594-1606.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

E. Kayahan, 0000-0002-2277-044X
M. Karaboyacı, 0000-0001-9710-900X
M. Dayık, 0009-0004-4649-834X

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	12.10.2023
Revizyon Tarihi / Revision Date	07.12.2023
Kabul Tarihi / Accepted Date	07.12.2023
Yayın Tarihi / Published Date	30.12.2023

* İlgili yazar / Corresponding author: ekayahan@pau.edu.tr, +90-258-296-3229

DYEING OF WOOL WITH NATURAL DYE OBTAINED FROM PULPS OF PLANTAL WASTE

Enfal KAYAHAN^{1†}, Mustafa KARABOYACI², Mehmet DAYIK

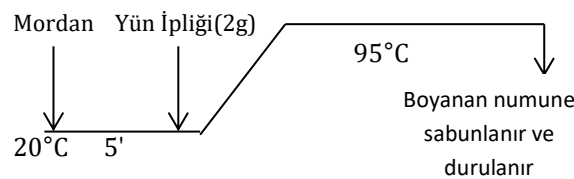
¹ Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Denizli, Türkiye

² Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

Highlights

- This research study presents a potential waste management solution that addresses the challenges of disposing of plant waste.
- Rosemary and cherry pulp were used for dyeing wool samples.
- The the washing and rubbing fastness of the samples were found in acceptable limit (3/4 to 5).
- It was produced a wide range of beautiful shades with color (yellow, light and dark shades of green and pink-powder).

Graphical Abstract



Şekil. Posadan Elde Edilen Doğal Boyarmadde Çözeltisi ile Yün Lifinin Boyanma Grafiği (Dyeing Chart for Wool Fiber dyed using natural dye Obtained from Vegetable Waste)

Purpose and Scope

The present research paper is aimed to explore the dyeing potential of rosemary and cherry pulp dye extract on wool fiber.

Design/methodology/approach

The present research paper is aimed to explore the dyeing potential of rosemary and cherry pulp dye extract on wool fiber. The research involved the determination of extraction times, dyeing periods. The effect of the mordant concentration and different types of metal mordants such as alum, ferrous sulfate, on color characteristics of and their fastness properties are also studied. The main point to emphasize is that mordant chemicals do not include heavy metals such as copper sulfate (CuSO_4) and nickel (Ni), which are known as traditional mordant chemicals. They do not pose a threat to human health. Mordanting of wool can provide different colour tones. Using natural dyes instead of synthetic dyes helps to protect human and environmental health. Industrial vegetable waste can be recycled to produce natural plant dyes and can therefore have a additional economic value after the extraction of the essential oils by the cosmetics industry.

Findings

At the end of the study it was produced a wide range of beautiful shades with color (yellow, light and dark shades of green and pink-powder). The the washing and rubbing fastness of the samples were found in acceptable limit (3/4 to 5). Similar results were observed in terms of the staining degrees of dyed samples (4-5 to 5). As a result, it can be said that rosemary and cherry pulp dye extract can provide bright hues with good color fastness properties with different types of mordants.

Orginality

According to the literature survey, there are limited numbers of studies on the dyeing textile materials using vegetable waste. This study is different from the works in the literature in respect of the non-toxic metal salts as mordants used in the using dyeing process.

[†] Corresponding author: ekayahan@pau.edu.tr, +90-258-296-3229

1. Giriş (Introduction)

Teknolojik ve endüstriyel gelişmeler, artan çevre kirliliğine de sebep olmaktadır. Sanayileşmeyi sürdürmekle birlikte, çevreyi bu ilerlemenin zararlı etkilerinden koruyabilmek yeni tedbir ve çözümlerin düşünülmesiyle başlanmasını gerekli kılmaktadır. Bu duruma ek olarak dünya üzerinde çevre ve sağlıklı tüketim konularında daha duyarlı bir kamuoyu oluşmaya başlamıştır. Bu durum tüketicileri üretimi esnasında minimum kimyasal kullanılan tekstil ürünlerini kullanmaya teşvik etmektedir. İlgili ürünler, geniş çapta kullanılmakta olan tekstil ürünleri ile kıyaslandığında katma değeri daha yüksek ürünler kategorisindedir ve ekolojik ve ekonomik etiketi altında, ülkemize önemli bir pazar payı kazandıracak potansiyeli taşımaktadır.

Doğal olana yönelim noktasında dikkat çeken bir gelişme de doğal kaynaklı boyarmaddelerin kullanımının artarak önem kazanmasıdır. Dünyada da farklı araştırma grupları yüksek maliyetleri ve zayıf kullanım haslıkları sebebiyle, bilinen doğal boya bitkileri yerine farklı bitkisel kaynaklardan doğal boyarmadde eldesi ile ilgili çalışmalar yürütmektedir.

Doğal boyarmadde eldesi ile ilgili çalışmaların son yıllarda doğal atıklardan boyarmadde eldesi yönünde ilerlediği görülmektedir. Bu sayede doğal bitkisel atıkların değerlendirilmesi söz konusu olacağı gibi, doğal boyarmadde kaynağı için ayrıca boya bitkisi yetiştirilmeyecek, dolayısıyla da bir tarım alanı işgali söz konusu olmayacaktır.

2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Bechtold vd. (2006), yiyecek ve içecek endüstrisindeki üzüm suyu ve şarap üretimi proses artıkları gibi bitkisel atıkların ciddi oranlarda doğal boyarmadde ihtiva ettiğini, bu tip atıkların tekstil sektörü için doğal boyarmadde kaynağı olarak değerlendirilebileceğini belirttikleri çalışmalarında, yün lifini boyanmasında demir sülfat (FeSO_4), şap ($\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$) kimyasallarını mordan olarak kullanılmıştır (Bechtold vd., 2006).

Literatürdeki bir başka çalışmada portakal kabuğundan 150 mL aseton, 150 mL etil alkol, 300 mL destile su, kullanılarak ekstraksiyon yapılmış ve elde edilen boyarmadde çözeltileri ile selüloz ve protein menşeli liflerin boyanabilme potansiyeli araştırılmıştır. İlgili çalışmadaki mordanlar, demir sülfat (FeSO_4), çinko klörür (ZnCl_2), şap ($\text{AlK}(\text{SO}_4)_2$), kalay klörür (SnCl_2), bakır sülfat (CuSO_4), potasyum dikromat ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$), mangan(II) asetat ($\text{Mn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$) gibi çeşitli geçiş elementleri tuzları, yöntem olarak ön-birlikte ve son mordanlama yöntemleri kullanılmıştır (Durnaoglu, 2006).

Lee (2007), çalışmasında su ile ekstraksiyon ile atık kahve tortusundan elde ettiği boyarmadde çözeltilerinin yün, ipek ve pamuk elyafını boyama performansını incelemiştir. Çalışmada mangan sülfat (MnSO_4), çinko sülfat (ZnSO_4), nikel sülfat (NiSO_4), bakır sülfat (CuSO_4), demir sülfat (FeSO_4), kalay sülfat (SnSO_4), kobalt sülfat (CoSO_4), alüminyum sülfat ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) mordan olarak kullanılmıştır. Haslık sonuçları değerlendirildiğinde üç elyaf çeşidinde de, en iyi sonuçları, renk doygunluğu açısından demir sülfat (FeSO_4), bakır sülfat (CuSO_4), kalay sülfat (SnSO_4) mordanları vermiştir. Pamukta nikel sülfat (NiSO_4), mangan sülfat (MnSO_4), çinko sülfat (ZnSO_4), bakır sülfat (CuSO_4)'la boyanmış numuneler, ipek lifinde mangan sülfat (MnSO_4) haricindeki tüm mordanlarla boyanan numuneler, yün lifinde bakır sülfat (CuSO_4), mangan sülfat (MnSO_4), kobalt sülfat (CoSO_4), demir sülfat (FeSO_4), alüminyum sülfat ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) ile boyanan numuneler ışık haslığı bakımından en iyi sonuçları vermişlerdir. Nihai değerlendirmede protein esaslı elyafda en iyi haslık değerlerine bakır sülfat (CuSO_4) ve demir sülfat (FeSO_4) mordanlarıyla ulaşılmıştır. Ayrıca boyanan numunelerin iyi derecede koku giderici özellik taşıdığı kaydedilmiştir (Lee, 2007).

Ekstraksiyon solventi olarak su kullanılan bir başka çalışmada, boyarmadde kaynağı kaya armudu, gümüş meşe ağacı, ağaç kabukları ve saz bitkileri olarak seçilmiş ve demir sülfat (FeSO_4), alüminyum sülfat (Al_2SO_4)₃, kalay klörür ($\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), kombinasyonlarıyla yün lifi üzerinde dört farklı renk elde edilmiştir. CIE Lab sonuçlarına ışığında elde edilen renk yelpazesinin, turuncu, sarı-kahve, sarı ve koyu gri olarak ifade edilmiştir (Agarwal vd., 2007).

Prutti vd., (2008), mordan olarak çeşitli oranlarda şap ($\text{AlK}(\text{SO}_4)_2$), bakır sülfat (CuSO_4), demir sülfat (FeSO_4) ve kromu (Cr) kullandıkları çalışmalarında doğal boyarmadde kaynağı olarak diken üzümü (barberry) kabuklarını değerlendirmiş ve ipek lifini boyamışlardır. İlgili çalışmada optimum ekstraksiyon zamanı ve optimum mordan miktarı da çalışılmış ve bu değerler sırasıyla 60 dakika ve 1:3 olarak tespit edilmiştir. Çeşitli oranlarda mordan kombinasyonlarının kullanıldığı çalışmada, geniş bir renk yelpazesine erişildiği belirtilmiştir (Prutti vd., 2008).

Jothi (2008), yüksek miktarda karotenoid ve lutein içeren kadife çiçeğinden sulu ekstraksiyon ile doğal boyarmadde elde etmişlerdir. Ön mordanlama yönteminin kullanıldığı bu çalışmada pamuk ve ipek lifleri boyanmış, mordan olarak demir sülfat (FeSO_4), şap ($\text{AlK}(\text{SO}_4)_2$), bakır sülfat (CuSO_4) ve kalay klörür (SnCl_2) kullanılmıştır (Jothi, 2008).

Kadife çiçeğinin kullanıldığı bir başka çalışmada ise 45 dakikada su ile ekstraksiyon yapılarak hazırlanan doğal boyarmadde, baskı patı içerisinde renklendirici olarak kullanılmış ve mordanlar reçete kapsamında hazırlanan baskı patının içerisine ilave etmişlerdir. İlgili çalışmada şap ($\text{AlK}(\text{SO}_4)_2$), bakır sülfat (CuSO_4), demir sülfat (FeSO_4), kurşun asetat ($\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2$), çinko klorür (ZnCl_2), potasyum dikromat ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$), ve kalay klorür (SnCl_2) mordanları kullanılmış ve görsel bir değerlendirme yapıldığında, tekstil elyafını en hızlı demir sülfat (FeSO_4) ve krom sülfat mordanlarıyla hazırlanan baskı patlarının boyamış olduğu vurgulanmıştır (Agarwal vd., 2007).

2011 yılında hintinciri ağacı kullanılarak elde edilen ekolojik doğal boyarmaddeyi Saravana vd., ve çalışma arkadaşları (2011), ön, birlikte ve son mordanlama yöntemlerini kullanarak, farklı mordanlarla, ön terbiyesi yapılmış ipek elyafını boyamada kullanmışlardır. Boyama prosesinde kullanılan doğal mordanlar myroblan ve tezek; kimyasal mordanlar ise demir sülfat (FeSO_4), bakır sülfat (CuSO_4), kalay klorür (SnCl_2), potasyum dikromat ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$), nikel sülfat (NiSO_4), şaptır ($\text{AlK}(\text{SO}_4)_2$) (Saravanan vd., 2011).

Literatürde konuyla ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde, meyve suyu endüstrisinin bitkisel atıklarından ya da boya bitkisi olmayıp, yeryüzünde çok miktarda yetişen bitkilerden tekstil elyafı için doğal boyarmadde eldesi ile ilgili çalışmalar mevcuttur. (Agarwal vd., 2007; Durnaoglu, 2006; Jothi, 2008; Lee, 2007; Prutti vd., 2008; Saravanan vd., 2011). Söz konusu çalışmalarda ekstraksiyon solventi olarak, su gibi doğal çözücüler kullanılmakla beraber, hekzan, aseton, etil asetat gibi organik solventler de kullanılmıştır.

Üç çeşit çay yaprağının, aseton, asetonitril ve etanol ile 1 saat muamele edilmesi sonucu hazırlanan stok boyarmadde çözeltisinin 4 saat atmosfer koşullarında bekletildikten sonra bambu elyafının boyamasında kullanıldığı bir çalışmada, boyama işlemi ön mordanlama ve mordansız olmak üzere iki farklı mordanlama yöntemi kullanılarak bakır sülfat (CuSO_4) ile gerçekleştirilmiştir. Boyanan numunelerin renklerinin koyu kahve-bej aralığında olduğu ve en iyi boya veriminin su-aseton ekstraksiyonu ile elde edilen çözelti ile yapılan boyamalarda gözlemlendiği ifade edilmiştir. Haslık değerlerinde irdelendiğinde de bu iki solventle elde edilen boyarmadde çözeltileriyle boyanmış numunelerde kabul edilebilir sonuçlara ulaşıldığı belirtilmiştir. (Satindar vd., 2012).

Doğal ve çevre ile dost boyarmadde ve proseslerin gün geçtikçe önem kazandığı ve dikkat çektiğinin vurgulandığı bir başka çalışmada mango ağacından doğal boya elde edilmesi ve farklı boyama prosedürleri kullanılarak, ipek ve yün liflerinin boyanmasını amaçlanmıştır ve mordan olarak krom (Cr) kullanılmıştır. Etanol çözeltisinin içinde $60\text{ }^\circ\text{C}$ ' de bir saat bekletilen ham boyarmaddenin, tekrar etanol-su karışımında, oda sıcaklığında bir gece boyunca dinlendirilerek saflaştırma işlemine tabi tutulduğu bu çalışmada, saf doğal boyarmadde ekstraktlarının tanen, glikosid, flavonoid gibi renk bileşenleri ihtiva ettiği ve saflaştırılarda elde edilen boyarmaddeye ait ışık haslığı değerlerinin, ham boyarmadde ile kıyaslandığında daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Win ve Swe., 2008).

2013 yılında İsmal, önemli bir biokütle çeşidi ve bir zeytin yağı proses atığı olan prinadan boyarmadde elde ederek yün lifinin demir (II) sülfat, şap, bakır (II) sülfat, potasyum dikromat ve kalay klorid ile boyanma performansını araştırmıştır. Boyanan numunelerden 4-5 ile yüksek yıkama haslığı değerleri elde edilirken, ışık haslığında 3 ile zayıf bir değer gözlemiş, mordan kullanımının haslık özellikleri ve renk çeşitliliğine etkisi vurgulanmıştır (İsmal 2013). Yazarın literatürdeki doğal boyarmadde kaynağı olarak badem kabuğunun kullanıldığı farklı bir çalışmada ise, plazma uygulamasının metalik mordanların yerine geçebilme ihtimali boyamaya etkisi ve irdelenmiştir. Son değerlendirmede plazma uygulamasının renk değerleri ve renk verimi üzerinde önemli bir değişikliğe sebep olmakla beraber, haslık değerleri üzerinde metalik mordanlara kıyasla pek farklı bir etkiye sebep olmadığı, özellikle ışık haslığı için doğal boya proseslerinde mordan kullanımının zorunluluğu ifade edilmiştir (İsmal vd., 2013).

İsmail vd. (2015) tarafından yapılan başka bir çalışmada doğal boya kaynağı olarak yine yeşil badem kabuğu kullanılmış fakat boyarmadde ekstraksiyonu ve boyama işlemlerinde ultrasonik yöntemle konvansiyonel yöntemleri renk verimliliği ve haslık özellikleri bakımından karşılaştırmışlardır. Mordan olarak potasyum dikromat şap, bakır sülfat ve demir sülfat kullanılarak yün lifinin boyandığı çalışmada, anadolu mazı meşesi, doğu mazısı yaprakları ve nar kabuğu gibi bitkiler doğal mordan olarak kullanılarak metalik mordanların yerine geçebilirlikleri incelenmiştir. Çalışma sonunda ultrasonik yöntemle boyanan numunelerde L^* değerlerine bağlı olarak daha açık renkler elde edildiği, fakat K/S değerleri açısından konvansiyonel yöntemle boyanan numunelerde daha yüksek değerlerin gözlemlendiği kaydedilmiştir. Bunun yanında haslık sonuçlarında ultrasonik ekstraksiyon+ultrasonik boyama prosesinin numuneler üzerinde daha iyi haslık performansı sağladığı ifade edilmiştir (İsmail vd., 2015).

2014 yılında Baaka vd., tarafından yapılan bir başka çalışmada, şarap endüstrisi atıkları doğal boyarmadde kaynağı olarak kullanılmış ve atık miktarı, ekstraksiyon süresi ve sıcaklığı, sodyum hidroksit konsantrasyonu gibi parametrelerin yün lifinin boyanmasındaki etkileri incelenmiştir. Çalışmada Minitab 15 analizi kullanılarak,

optimum sodyum hidroksit konsantrasyonu 0.13M, boyarmadde kaynağı olarak kullanılan atık miktarı 69,59g/l, ekstraksiyon sıcaklığı 80°C, ekstraksiyon süresi ise 70 dakika olarak tespit edilmiştir. Herhangi bir metalik mordanın kullanılmadığı çalışmada boyayan numunelerin haslık değerleri yıkama, kuru sürtme ve ışık haslığında 4, yaş sürtme haslığında ise 3-4 ile oldukça iyi seviyededir (Baaka vd., 2015).

Karaboyacı (2014) bazı organik asitleri ve toksik olmayan metal tuzlarını mordan olarak kullandığı çalışmasında yün lifinde hardal sarısı, açık kahve, bej ve askeri yeşil renklerini elde etmiştir. Bu çalışmada endüstriyel bir atık olan gül posasını doğal boyarmadde kaynağı olarak kullandığı olarak kullanılmış ve boyanan numunelerin 4-5 ile oldukça yüksek haslık değerleri sergilediği ifade edilmiştir (Karaboyacı 2014).

Blackburn ve çalışma grubu (2018), meyve suyu proses atığı olan preslenmiş frenk üzümünden izole ettikleri antosiyaninleri ipek ve yünün boyanmasında kullanmışlardır. Çalışmada mordan kullanılmadan yapılan boyamalarda genellikle pembe renk tonları elde edilirken, $Al_2(SO_4)_3$ kullanıldığı işlemlerde, Ph 2 ila 7 arasında mor renk tonları, pH 9 un üzerinde ise mavi renk tonları elde edildiği belirtilmiştir. Boya banyosuna demir asetat ilavesi ise genellikle ipek ve yün elyafında, kahverengi-yeşil renk tonlarının eldesini mümkün kılmıştır. Yıkama haslığında $Fe(CH_3CO_2)_3$ ve $Al_2(SO_4)_3$ ile boyanan numunelerde 5 ile yüksek bir haslık değeri elde edilmiştir (Blackburn vd., 2018).

Bitkisel atıklardan elde edilen boyarmaddelerle boyanmış tekstil elyafının kullanımlarıyla ilgili haslık sonuçları incelendiğinde, aşılması gereken temel sorunun ışık haslığı değerlerinin iyileştirilmesi olduğu açıkça görülmektedir. Elbette, doğal boya proseslerinde elde edilen renk tonlarının tekrar edilebilirliği ve standardizasyonu ayrıca boyama işlemlerinden sonra ortaya çıkan tekstil atık suyunun içerdiği ağır metal miktarı, kullanılan organik çözücülerin çevreye getirdiği toksik yük gibi aydınlatılması gereken detaylar da mevcuttur.

Bu çalışmada geleneksel olarak kök boyacılıkta kullanılan doğal olan boya bitkileri yerine, endüstriyel bitkisel atıklardan, tekstil lifleri için doğal boyarmadde elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç kapsamında, atık olarak daha önce çalışılmamış olan, vişne ve biberiye bitkilerinin atıkları kullanılmış, demir sülfat ($FeSO_4$), sodyum karbonat (Na_2CO_3), kalsiyum karbonat ($CaCO_3$), alüminyum klorür ($AlCl_3$), tannik asit, şap ($AlK(SO_4)_2$) ve sitrik asit eşliğinde ve bu mordanları farklı şekillerde kombine ederek, birlikte mordanlama yöntemi ile yün elyafının boyanması araştırılmıştır. Boyanmış numunelerin renk haslığı testleri yapılarak en uygun boyama şartlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Ek olarak Türkiye’de farklı sektörlerin endüstriyel bitkisel atıklarının doğal boyarmadde kaynakları olarak değerlendirilme imkanları da analiz edilmiştir.

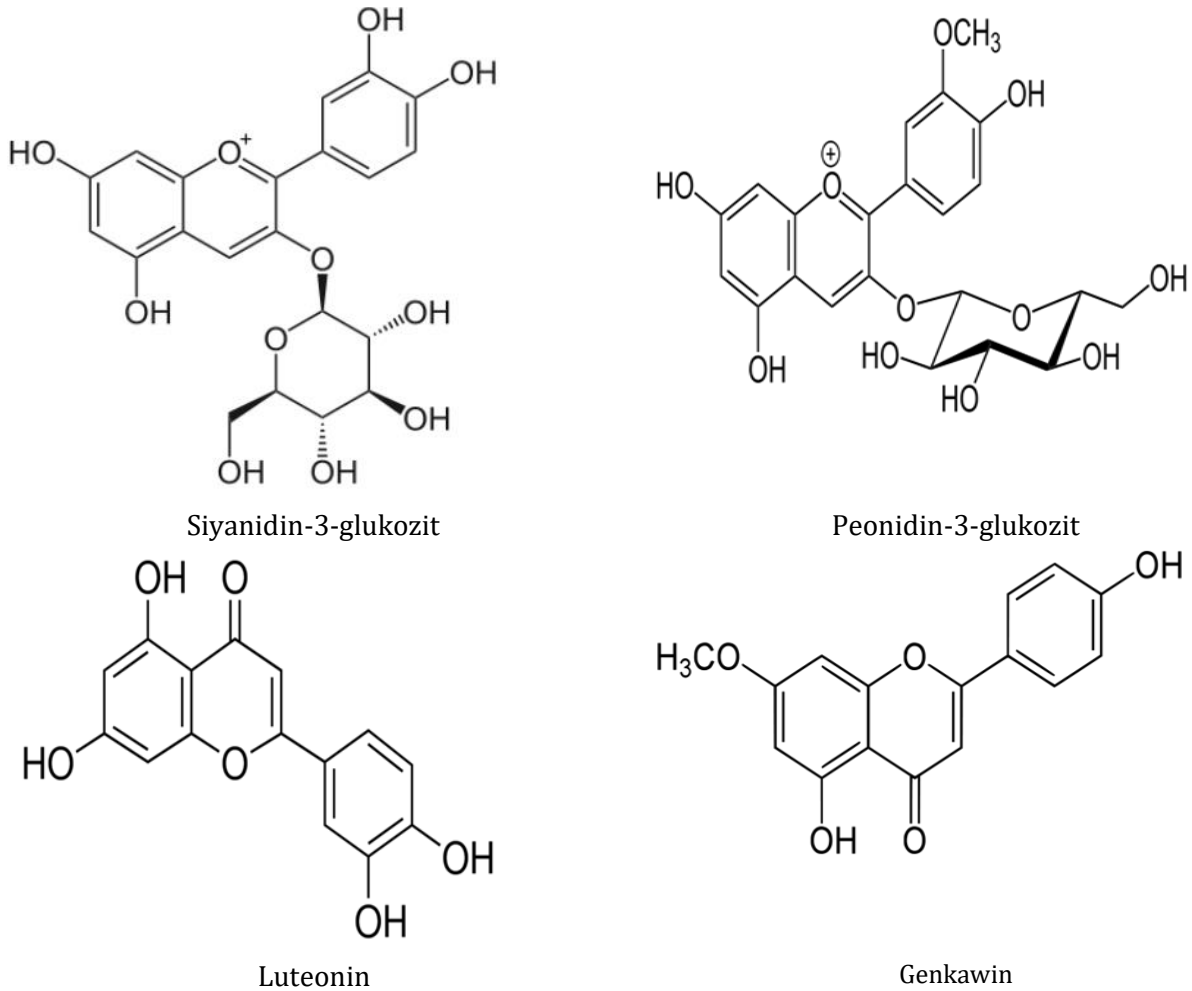
3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Bu çalışmada, boyama materyali olarak kullanılan tekstil malzemesi, ham yün ipliğidir. Boyarmadde ekstraksiyonu için hammadde olarak ise Isparta’da bulunan Robertet Gül Yağı Fabrika’sından proses artığı olarak alınan yağ alınmış biberiye bitkisi, ASYA Meyve Suyu Fabrikası’ndan alınan vişne posası kullanılmıştır.

Bitkilere doğal renklerini veren maddeler, karatenoidler, flavanoidler, klorofiller olarak sınıflandırılmaktadır (Karakurt ve Aslantaş, 2008). Çalışmada doğal boyarmadde kaynağı olarak kullanılan bitkisel atıklar söz konusu renk pigmentlerini içermektedir.

Literatürdeki çalışmalarda vişne meyvesinde siyanidin-3-glukozilrutinozit, siyanidin-3-rutinozit siyanidin-3-soforozit (siyanidin-3-arabinozilrutinozit), ve siyanidin-3-glukozit ve bu temel bileşiklere ek olarak peonidin-3-glukozit ve peonidin-3-rutinozit antosiyaninlerinin varlığı, (Hang vd. Hang ve Wrolstad,1990; Dekazos 1970) bir başka çalışmada ise biberiye bitkisinde antibakteriyel ve iltahaplanmayı önleyici sarı boyarmadde luteolin (Cardon 2007; Dölen 1992) ve flavon grubuna dahil genkwanin flavonunun varlığı rapor edilmiştir (Baño vd., 2003).

Antosiyaninler, bitkilerin, kök çiçek, meyve, yaprak, gibi organlarında bulunan, bitkiye kendine has mor, pembe, mavi ve kırmızıya kadar geniş bir yelpazede renk veren ve suda çözünebilen doğal pigment grubunun ismidir (Cardon 2007, Blando vd., 2004). Vişne antosiyanince zengin bir meyvedir ve antioksidan özellikleri sayesinde antosiyaninler sağlıklı beslenme açısından da önem taşımaktadır (Kim vd., 2005). Flavonoidler ise, (flavonlar ve flavonollar) temel kromoforlardır ve sarı renk boyarmaddelerdir. (Deveoğlu ve Karadağ, 2011).



Şekil 1. Vişne ve Biberiye bitkilerinde bulunan bazı renklendirici bileşikler (Rosemary and Sour cherry plants flavonoids)(en.wikipedia.org, www.sigmaaldrich.com)

Ekstrakte edilen boyarmaddelerin liflere bağlanmasını sağlamak amacıyla demir sülfat (FeSO_4), sodyum karbonat (Na_2CO_3), kalsiyum karbonat (CaCO_3), alüminyum klorür (AlCl_3), tannik asit, şap ($\text{AlK}(\text{SO}_4)_2$) ve sitrik asit mordanları kullanılmış ve her biri ile boyama denemeleri gerçekleştirilmiştir. Kullanılan tüm kimyasallar, Merck ve Fluka firmalarına ait olup, analitik saflığa sahiptirler.

4. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

4.1. Bitkisel Atıklarından Boyarmadde Ekstraksiyonu ve Optimum Ekstraksiyon Zamanının Belirlenmesi (Determining Optimum Extraction Time and for Extraction Process For Plant Dye)

Biberiye ve vişne su ile ekstrakte edilmiş ve içerdikleri doğal boyarmaddelerin su fazına geçmesi sağlanmıştır. Boyama işlemlerinin her biri için, kurutulmuş ve toz haline getirilmiş 2 g vişne ve biberiye posası 40 mL su ile 100°C 'de kaynatılmıştır. Bu işlem balon joje ve geri soğutucu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kaynatma işleminde 1, 2, 3, 4, 5 saat olmak üzere beş farklı çalışma saati kullanılmıştır. Kaynatma işleminin sonunda, karışım süzülerek 5 farklı boyarmadde çözeltisi elde edilmiştir. Bu boyarmadde çözeltileriyle boyanmaya hazır ön terbiyeli yün numuneleri çektirme yöntemine göre aynı koşullarda, Ahiba Numune Boyama Makinesinde boyanmıştır. Boyanan numunelerin spektrofotometre ölçümlerinden elde edilen en düşük L^* değeri, ekstaksiyon işlemi için, optimum boyama süresini vermektedir.

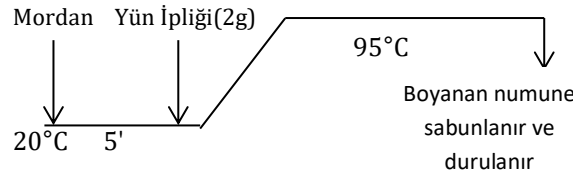
Literatürde belirtildiği gibi, L^* değeri rengin açıklık ve koyuluğunun ölçüsüdür. Spektrofotometre ölçümlerinde siyah renk için L değeri 0 olarak ifade edilirken, beyaz renk için L değeri 100 olarak belirtilmektedir. (Acar 2009). Buradan hareketle, boyanan numuneler üzerinde ölçülen en düşük L^* değerinin en koyu rengi ifade ettiği söylenebilir. Ekstraksiyon ve boyama işlemlerinden sonra, mordansız boyanan numuneler üzerinde ölçülen en düşük L^* değerlerinin elde edildiği zaman aralıkları, ilgili prosedürler için optimum işlem sürelerini vermektedir. Çünkü işlem süresi uzatıldığında, L^* değeri azalmamakta, dolayısıyla renk derinleşmemektedir (Karaboyacı 2014).

4.2. Optimum Boyama Zamanının Belirlenmesi (Determining Optimum Dyeing Time)

Fabrikada işlenmiş boyanmaya hazır ön terbiyeli yün numuneleri, çektirme yöntemine göre 1/20 flotte oranında, boyarmadde iplik oranı 1:1 alınarak, Ahiba Numune Boyama Makinesinde, 60, 75, 90, 115 ve 130 dakika olmak üzere, 15'er dakika aralıklarla boyama denemeleri yapılmış, süre bitiminde numuneler sabunla yıkanıp, saf su ile durulanmış ve kurutulmuştur. Daha sonra ölçülen en düşük L* değeri dikkate alınarak her iki boyarmadde için de optimum boyama zamanı belirlenmiştir.

4.3. Boyama Diyagramı ve Boyama Yöntemi (Dyeing Diagram and Process)

Mordan kimyasalları, boyama prosesinde lif ve boyarmaddeye bağlanarak ya da yüzey yükünü değiştirerek, boyarmadde ile tekstil elyafı arasında bir köprü vazifesi görür. Bu çalışmada demir sülfat ($FeSO_4$), sodyum karbonat (Na_2CO_3), kalsiyum karbonat ($CaCO_3$), alüminyum klorür ($AlCl_3$), tanik asit, şap ($AlK(SO_4)_2$) ve sitrik asit olmak üzere, bazı asidik ve bazik bileşikler ve mordan olarak toksik olmayan metal tuzları tercih edilmiştir. Daha sonra fabrikada işlenmiş boyanmaya hazır yün ipliği numunelerine, çektirme yöntemine göre 1/20 flotte oranında, boyarmadde iplik oranı 1:1 alınarak, Ahiba Numune Boyama Makinesinde, birlikte mordanlama yöntemine göre önce mordan olarak seçilen kimyasal, daha sonra da tartılmış yün ipliği boya banyosuna eklenerek, 95°C'de ve biberiye için 75 dakikada, vişne için 90 dakikada (bu süreler, deneysel çalışmada belirlenen optimum boyama zamanlarıdır) boyama yapılmış, boyama süresinin sonunda boya çözeltisi süzülüp, numune sabunla yıkanmış saf su ile durulanmış ve kurutulmuştur. Boyama sırasında kullanılan mordan türüne bağlı olarak farklı mordan miktarı ve pH koşullarında boyamalar gerçekleştirilmiştir. Şekil 2'de yün ipliklerin vişne posası ve biberiye atıklarından elde edilen boyarmaddeler ile boyanma diyagramı verilmiştir.



Şekil 2. Posadan Elde Edilen Doğal Boyarmadde Çözeltisi ile Yün Lifinin Boyanma Grafiği (Dyeing Chart for Wool Fiber dyed using natural dye Obtained from Vegetable Waste)

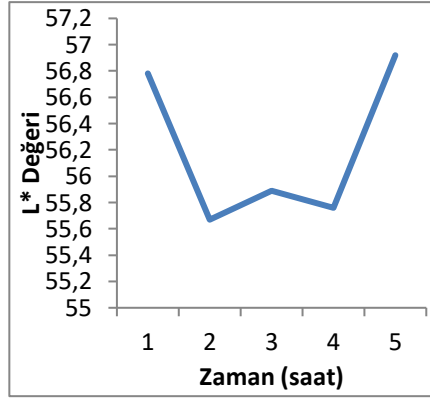
4.4. Haslık Testleri (Fastness properties)

Boyama işlemi gerçekleştirilen numunelerin yıkamaya karşı renk haslıkları Gyrowash yıkama makinesinde TSE EN ISO 105-C01 Standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir (Kır ve Benli 2018). Numunedeki renk değişimi ve lekelenme derecesi A02 ve A03 Gri skalaları ile standart ışık kabininde değerlendirilmiştir.

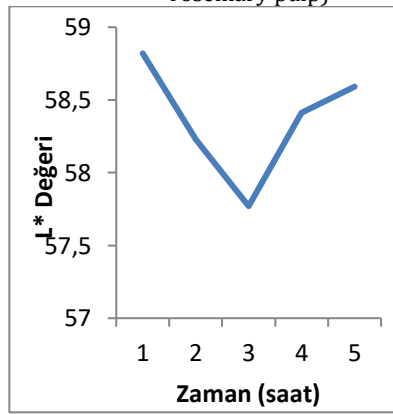
Boyama işlemi gerçekleştirilen numunelerin kuru ve yaş sürtünmeye karşı renk haslıkları Crockmaster Sürtünmeye karşı renk haslığı test cihazında TSE EN ISO 105 - X 12 Standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Numunedeki lekelenme derecesi A01 Gri skalası ile standart ışık kabininde değerlendirilmiştir (Kır ve Benli 2018). Boyama işlemi gerçekleştirilen numunelerin L*, a* ve b* renk uzayı değerleri Macbeth Color Eye 7000 marka spektrofotometre cihazında belirlenmiştir. Burada L*, rengin açık/koyuluğunun (parlaklığının) bir ölçüsüdür ve L*, siyah için 0 değeri ile beyaz için 100 değerleri arasında değişmektedir. Çok parlak renkler için a* ve b*'nin en yüksek değerleri, yaklaşık +80 ve -80 arasındadır (Acar 2009). Nötral nokta (a* = b* = 0) etrafında çizilen bir çember sabit kromaya sahip bir renk çemberini tanımlamaktadır ve kırmızıdan başlamak üzere h açısı (derece cinsinden) rengin bir ölçüsüdür (Hunterlab, 1996).

5. Araştırma Bulguları (Experimental Results)

Şekil 3 ve 4'de biberiye ve vişne posalarından elde edilen boyarmaddeler için belirlenen optimum ekstraksiyon zamanları açıkça görülmektedir. Daha önce de belirtildiği gibi en düşük L* değeri en koyu rengi ifade ettiğinden biberiye bitkisinin posasından elde edilen boyarmadde için optimum ekstraksiyon zamanı 2, vişne posasından elde edilen boyarmadde için ise optimum ekstraksiyon zamanı 3 saat olarak tespit edilmiştir.

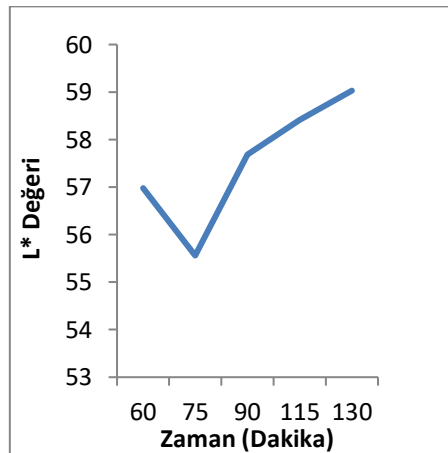


Şekil 3. Biberiye bitkisinden elde edilen boyarmadde için optimum ekstraksiyon zamanı (Optimum extraction time for rosemary pulp)

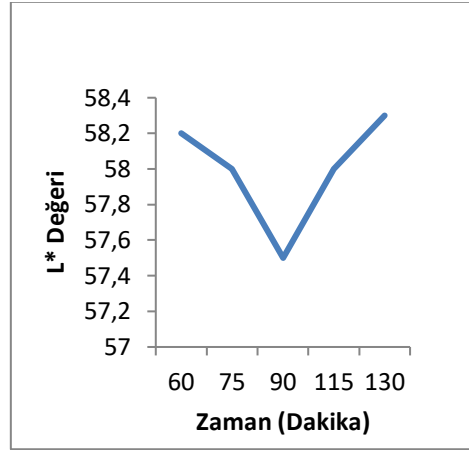


Şekil 4. Vişne bitkisinden elde edilen boyarmadde için optimum ekstraksiyon zamanı (Optimum extraction time for sour cherry pulp)

Biberiye ve vişne posalarından elde edilen boyarmaddelerle yün elyafının boyanmasında optimum boyama zamanları, şekil 5 ve 6 'da açıkça görülmektedir. Biberiye kullanılarak boyanan numuneler üzerinde en düşük L* değeri 75. dakikada boyanan numunede, vişne posası kullanılarak boyanan numuneler üzerinde en düşük L* değeri ise 90. dakikada ölçülmüştür. Bu noktalar aynı zamanda söz konusu boyarmaddelerle mordan kullanılmadan boyanan numunelerdeki en koyu renk tonunu ifade etmektedir.



Şekil 5. Biberiye bitkisinden elde edilen boyarmadde için optimum boyama zamanı (Optimum dyeing time for rosemary pulp)



Şekil 6. Vişne bitkisinden elde edilen boyarmadde için optimum boyama zamanı (Optimum dyeing time for sourcherry pulp)

Tablo 1’de biberiye ve vişne posasından elde edilen boyarmadde ve mordan kullanılarak boyanmış yün ipliği numunelerine ait CIE Lab* renk uzayı değerleri, şekil 7’de ise boyanmış numunelere ait görüntüler verilmektedir.

Biberiye bitkisi posası kullanılarak yapılan boyamalarda, numuneler; yeşil tonları ile birlikte bej, kahve tonları olmak üzere geniş bir renk yelpazesine sahiptir. Mordansız boyanan numuneler ve Na_2CO_3 ve şap mordanları ile boyanmış numuneler sarı ve bej tonlarındayken, sitrik asit ile FeSO_4 ve sadece sitrik asit mordanlarının kullanıldığı boyamalardan çıkan numuneler ise kahverengi, CaCO_3 , Na_2CO_3 ve FeSO_4 , mordanları kullanılarak yapılan boyamalar yeşil, tonlarındadır.

Vişne bitki posası kullanılarak yapılan boyamalarda, numunelerin pembe renk tonlarında boyandığı gözlenmiş, boyamalarında şap ile sitrik asitin kullanıldığı numune renklerinin diğerleri ile mukayese edildiğinde daha parlak olduğu sonucuna varılmıştır. Tannik asitle yapılan boyamalarda rengin kızıla kaydığı, FeSO_4 ile yapılan boyamalarda ise koyu yeşile yakın haki yeşil bir renk tonunun elde edildiği gözlenmiştir. Netice itibariyle biberiye bitkisinden elde edilen renklerin vişne bitkisinden elde edilen renklere kıyasla daha zengin olduğu görülmektedir.

Tablo 1. Biberiye ve vişne posasından elde edilen boyarmadde ve mordan kullanılarak boyanmış yün ipliği numunelerine ait CIE Lab renk uzayı değerleri (CIE-L*a*b* values dyed wool samples)

Boyama Metodu	Boyamada kullanılan bitki	Mordan	Renk Ölçümleri			Pantone Color Renk Kodları (2022)
			L*	a*	b*	
Birlikte Mordanlama	Vişne Posası	Ham	56,75	8,98	17,58	4645
		Sitrik asit	61,64	3,79	10,23	5015
		Şap	59,97	8,42	16,32	4665
		Şap ve sitrik asit	58,34	8,03	16,47	4685
		CaCO_3	55,09	9,93	18,1	4755
		Na_2CO_3	57,3	7,13	12,27	489
		Şap ve FeSO_4	61,12	6,31	17,24	467
	FeSO_4	59,67	5,4	14,87	453	
	Biberiye Posası	Ham	58,64	0,96	19,49	4515
		Sitrik asit	35,38	5,55	19,61	4525
		Şap	69,94	0	25,5	4545
		CaCO_3	55,85	6,2	25,81	4675
		Na_2CO_3	59,33	0,97	18,33	449
		FeSO_4	48,01	-0,25	12,86	455
Na_2CO_3 ve FeSO_4		65,96	0,78	18,38	452	

Sitrik asit ve FeSO ₄	51,24	4,08	22,39	476
----------------------------------	-------	------	-------	-----



Şekil 7. Boyanmış yün ipliği numunelerine ait görüntüler (Shade cards for wool samples dyed with plantal dye)

Boyanan numunelerin yıkamaya karşı renk haslığı değerleri Tablo 2’te verilmiştir.

Literatürde rapor edilen çalışmalar incelendiğinde, boyarmadde kaynağı olarak üzüm posalarının kullanıldığı çalışmada, boyanmış numunelerden 4/5 ve az miktarda 4 ile iyi yıkama haslık değerleri elde belirtilirken, ışık haslığı açısından elde edilen en yüksek değerlerin 3 olduğu ifade edilmiş haslık değerlerindeki değişim boyama proseslerinde kullanılan mordan çeşidiyle ilişkilendirilmiştir (Bechtold vd., 2006).

Doğal boya kaynağı olarak portakal kabuğunun kullanıldığı bir başka çalışmada ise, boyanan yün numunelerinde, göze hitap eden canlı renk tonlarının ve yüksek haslık değerlerinin elde edildiği, pamukta ise aynı durumun söz konusu olmadığı ve daha düşük haslıklar ve boyanma performansı ile karşılaştığı kaydedilmiştir (Durnaoglu, 2006).

Lee (2007), kahve tortusundan elde edilen boyarmadde ile protein esashı elyafta en iyi haslık değerlerine bakır sülfat (CuSO₄) ve demir sülfat (FeSO₄) mordanları ile ulaşıldığı, boyanan numunelerin iyi derecede koku giderici özellik gösterdiği kaydedilmiştir (Lee, 2007).

Raja ve çalışma grubu ise, gümüş meşe ağacından elde ettikleri boyarmaddenin demir sülfat ile(FeSO₄) yapılan boyamalarda yıkama haslığı değerlerini 3-4-5, ışık haslığı değerlerini de 6-7 seviyelerinde, şapinyum sülfat (Al₂SO₄)₃, kullanılarak yapılan boyamalarda yıkama haslığı değerlerini 3-4-5, ışık haslığı değerlerini 5-6 seviyelerinde, kalay klorür ile yapılan boyamalarda yıkama haslığı değerlerini 3-4-5, ışık haslığı değerlerini 5-6-7 seviyelerinde, değiştiği tespit etmişlerdir (Raja ve Thilagavathi, 2008) .

Diken üzümünden doğal boya ekstrakte edilen bir başka çalışmada, haslık değerlerinde en iyi performansı son mordanlama yöntemi ile boyanan numunelerin gösterdiği ifade edilirken, yıkama haslık değerlerinin düşük seviyede olduğunu fakat, farklı tipte mordanların birlikte kullanılmasıyla ışık haslığında 4-5 ile iyi sonuçlar elde edildiği belirtilmiştir. (Prutti vd., 2008).

Kadife çiçeğinden elde edilen boyarmadde ile pamuk ve ipek liflerini boyadıkları çalışmalarında Jothi (2008), numunelerin sürtme haslık değerlerinin her iki elyafta ve bütün mordanlarda 4-5 seviyesinde olduğunu, yıkama

haslığında ise pamukta daha iyi sonuçlar alındığını kaydetmişlerdir. İpekte, en yüksek haslık değeri 4 ile de demir sülfat (FeSO_4), ve bakır sülfattadır (CuSO_4), en düşük haslık değerleri 2-3 ile kalay klorür (SnCl_2) ve şapda ($\text{AlK}(\text{SO}_4)_2$) (Jothi, 2008). Işık haslığında pamuk elyafının haslık değerleri kalay klorürle (SnCl_2) yapılan boyamalarda düşük (3), diğer mordanlarda yüksek seviyededir. Aynı bitki kullanılarak yapılan bir diğer çalışmada yıkama haslığında numunelerin renk değiştirme performansı 3-4-5 seviyelerindeyken, refakat kumaşın lekelenme derecesi 4-5 ile tüm mordanlarda iyi seviyededir (Agarwal vd., 2007).

Mango ağacının doğal boya kaynağı olarak kullanıldığı bir başka çalışmada ise boyanmış yün ve ipek ipliklerinin yıkamaya karşı oldukça yüksek haslık değerleri verdiği belirlenmiştir. Refakat kumaş üzerinde hiçbir lekelenme gözlenmemiştir (Win ve Swe, 2008).

Çalışma kapsamında boyanan numunelerin haslık sonuçları değerlendirildiğinde boyarmadde çeşidi açısından en iyi haslık performansının biberiye posasından elde edilen boyarmadde ile boyanmış numunelerde gözlemlendiği ifade edilebilir. Mordanlar da ise, en yüksek haslık sonuçları şap ve FeSO_4 ile boyanan numunelerden elde edilmiştir.

Tablo 2. Yıkamaya Karşı Renk Haslığı Test Sonuçları (Washing Fastness Properties For Dyed Wool Samples)

Boyamada Kullanılan Bitki	Mordan	Solma	Lekelenme					
			Yün	Akrilik	PES	PA 6.6	Pamuk	Asetat
Vişne Posası	Ham	2	5	5	5	5	5	4/5
	Sitrik asit	3/4	5	5	5	4/5	4/5	4/5
	Şap	3/4	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
	Şap ve sitrik asit	3/4	4/5	5	5	5	4/5	4/5
	CaCO_3	3/4	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
	Şap ve FeSO_4	4	4/5	5	5	5	5	5
	FeSO_4	4	4	4	4/5	4/5	5	4/5
	Na_2CO_3	3/4	5	5	5	5	5	4/5
Biberiye Posası	Ham	3/4	4/5	4/5	4/5	4/5	4	4/5
	Sitrik asit	4/5	4	4	4/5	4	4/5	4/5
	Şap	4	4/5	4/5	5	5	4/5	4/5
	CaCO_3	3	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
	Na_2CO_3	4/5	5	5	4/5	5	4/5	4/5
	FeSO_4	4/5	4/5	4/5	5	5	4/5	4/5
	Na_2CO_3 ve FeSO_4	3/4	5	4/5	5	5	4/5	4/5
	Sitrik asit ve FeSO_4	4	5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5

Boyanan numunelerin kuru ve yaş sürtmeye karşı değerleri Tablo 3 de verilmiştir. Değerlerden de açıkça görüldüğü gibi numunelere ait sürtme haslığı test sonuçları tatmin edici seviyededir. Yaş sürtme haslığında vişneden elde edilen boyarmaddeyle boyanmış numunelerden alınan değerlerin tümü 4/5 ile yüksek seviyede seyrederken, biberiyeden elde edilen boyarmaddeyle boyanmış numunelere ait değerler arasında Na_2CO_3 ve FeSO_4 , Sitrik asit ve FeSO_4 mordanları kullanılarak ve mordansız boyanan numunelerin yaş sürtme haslık değerlerinin 4 olup diğerlerinden daha düşük olduğu görülmüştür. Kuru sürtme haslık değerleri tüm numunelerde aynıdır. Solma değerleri karşılaştırıldığında ise en fazla lekelenme 4 ile Ca_2CO_3 mordanı kullanılarak biberiyeden elde edilen boyarmaddeyle boyanmış numunesinde görülmüştür. Daha sonra 4/5 değeri ile Na_2CO_3 ve FeSO_4 , Sitrik asit ve FeSO_4 , sadece FeSO_4 mordanları kullanılarak biberiyeden elde edilen boyarmaddeyle boyanmış numuneler gelmektedir. Vişne bitkisinden elde edilen boyarmaddeyle boyanmış numunelerde ise mordansız ve sitrik asit kullanılarak boyanmış numunelere ait solma değeri 4/5, diğer numunelere ait değerler ise 5 ile en yüksek seviyededir. Mordan kullanılmadan boyanan ham numunelerin solma değerleri, metal katyonlarının ilavesi ile kullanım açısından kabul edilebilir değerlere çekilmiştir. Literatürde rapor edilen haslık sonuçlarıyla kıyaslandığında elde edilen haslık değerlerinin oldukça iyi seviyede ve kullanım açısından yeterli olduğu sonucuna varılmıştır. Vişne ve biberiye posalarının ihtiva ettiği antosiyanin ve flavonoidler, doğal boyarmadde grubuna dahil olan bileşiklerdir. Doğal boyama proseslerinde de mordan ilavesinin doğal boyaların haslıklarını arttırmakla beraber renk yelpazesini de genişlettiği literatürde rapor edilmiştir (Chandra vd., 2001; Tutak vd., 2014).

Tablo 3. Kuru ve Yaş Sürtmeye Karşı Renk Haslığı Test Sonuçları (Rubbing Fastness Properties For Dyed Wool Samples)

Boyama Metodu	Boyamada kullanılan bitki	Mordan	Flotte Oranı	pH	Banyo Sıc.	Sürtmeye Haslığı		
						Yaş	Kuru	Solma
Birlikte Mordanlama	Vişne Posası	Ham	1/20	3,5	90-95 °C	4/5	5	4/5
		Sitrik asit	1/20	8,9	90-95 °C	4/5	5	4/5
		Şap	1/20	3,4	90-95 °C	4/5	5	5
		Şap ve sitrik asit	1/20	7,5	90-95 °C	4/5	5	5
		CaCO ₃	1/20	4,3	90-95 °C	4/5	5	5
		Şap FeSO ₄	1/20	5,6	90-95 °C	4/5	5	5
		FeSO ₄	1/20	8,4	90-95 °C	4	5	5
		Na ₂ CO ₃	1/20	7,5	90-95 °C	4/5	5	4/5
	Biberiye Posası	Ham	1/20	3,5	90-95 °C	4	5	4/5
		Sitrik asit	1/20	2,95	90-95 °C	4/5	5	5
		Şap	1/20	4,06	90-95 °C	4/5	5	5
		CaCO ₃	1/20	6,3	90-95 °C	4/5	5	4
		Na ₂ CO ₃	1/20	8,9	90-95 °C	4/5	5	5
		FeSO ₄	1/20	4,09	90-95 °C	4/5	5	4/5
	Na ₂ CO ₃ ve FeSO ₄	1/20	8	90-95 °C	4	5	4/5	
	Sitrik asit ve FeSO ₄	1/20	8,9	90-95 °C	4	5	4/5	

6. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Bu çalışmada doğal bitkisel atıklardan, tekstilde kullanılan sentetik boyarmaddelere ve doğal fakat pahalı kök boyaya alternatif olarak, ucuz ve bitkisel boyarmaddeler elde edilmiş ve bu boyarmaddelerin, yn elyafını boyama performansları incelenmiştir. Çalışma esnasında, çevresel hassasiyetler ve insan sağlığı bakımından zararsız bir ürün elde edilmekle beraber, boya bitkisi yetiştirme maksadıyla herhangi bir tarımsal alan işgal edilmemiştir. Boyarmadde kaynağı olarak kullanılan vişne ve biberiye bitkisi atıklarında, optimum ekstraksiyon zamanı biberiye için 2, vişne bitkisi için ise 3 olarak tespit edilmiştir. Optimum boyama zamanları biberiye için 75 dakika, vişne için ise 90 dakika olarak bulunmuştur. Ayrıca kullanılan mordan kimyasalları bakır sülfat (CuSO₄) ve nikel (Ni) gibi geleneksel mordan kimyasalları olarak bilinen ağır metallere dahil değildir ve insan sağlığı açısından tehdit oluşturmamaktadırlar. Mordan seçimi yapılırken, göz önünde bulundurulana ana kriter kullanılacak kimyasalların, insan ve evre sağlığına zarar vermemeleridir. Çalışma sonunda boyanan numunelerin yıkama ve sürtmeye haslığ değerlerinin yeterli seviyede olduğu ve özellikle yn halı ipliklerinin boyanmasında elverişli olacağı tespit edilmiştir.

ıkar atışması (Conflict of Interest)

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

Kaynaklar (References)

- Acar, K., 2009. Floresans Renkler İçeren Boyama Reetesi Tahmin Algoritmalarında Başarının Artırılmasına Yönelik Yeni Bir Yöntem, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 273s, İstanbul
- Agarwal, R., Pruthi, N., Jeet, S., Singh, S., 2007. Effect Of Mordants On Printing With Marigold Flowers Dye" Natural Product Radiance, 6. 306-309.
- Baaka, N., Ben Ticha, M., Haddar, W., Hammami, S., and Mhenni, M. F., 2015. Extraction of Natural Dye from Waste Wine Industry: Optimization Survey Based on a Central Composite Design Method, Fibers and Polymers, (16), 38-45p.

- Baño, M.J., Lorente, J., Castillo, J., García, O. B., Rfo, J. A., Ortuño, A., Quirin, K. W., and Gerard, D., 2003. Phenolic Diterpenes, Flavones, and Rosmarinic Acid Distribution during the Development of Leaves, Flowers, Stems, and Roots of *Rosmarinus officinalis*. Antioxidant Activity, *Journal of Agricultural Food Chemistry*, (51), 4247–4253p.
- Bechtold T., Mahmud-Ali A., Mussak R., 2007. Anthocyanin dyes extracted from grape pomace for the purpose of textile dyeing, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87, 2589-2595.
- Bechtold, T., Mussak, R., Mahmud-Ali, A., Ganglberger E., Geissler S., 2006. Extraction of natural dyes for textile dyeing from coloured plant wastes released from the food and beverage industry. *Journal of The Science of Food and Agriculture*, 86(2), 233-242.
- Blando, F., Gerardi, C. and Nicoletti, I., 2004. Sour Cherry (*Prunus cerasus* L) Anthocyanins as Ingredients for Functional Foods, *Journal of Biomedicine and Biotechnology*, Vol. 5253–258 p.
- Cardon, D., 2007. Natural dyes- sources, tradition, technology and science. Archetype Publications Ltd., London, 112s.
- Chandra, A., Rana, J. and Li, Y., 2001. Separation, Identification, Quantification, and Method Validation of Anthocyanins in Botanical Supplement Raw Materials by HPLC and HPLC-MS., *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 49, 3515-3521p.
- Dekazos, E. D. 1970 Anthocyanin Pigments In Red Part Cherrries. *Journal of Food Science*, Vol. 35(6), 237.
- Deveoğlu, O., Karadağ, R., 2011 Genel Bir Bakış: Doğal Boyarmaddeler, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 23(1), 21-32p.
- Dölen, E., 1992. Tekstil tarihi: Dünyada ve Türkiye’ de tekstil teknolojisinin ve sanayiinin tarihsel gelişimi. *Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yayınları No: 92/1, Matbaa Eğitimi Bölümü Yayın No:6, İstanbul*, 34s.
- Durnaoglu, U., 2006. Portakal (*citrus sinensis* l.) Kabuğundan Boyarmadde Ekstraksiyonu: Selülozik ve Protein Boyamadaki Kullanılabilirliği *Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Master Tezi*, 73s, Tokat.
- [Free Printable Pantone Color Charts \(Word | PDF\) \(wordlayouts.com\)](#) (2022).
- Hang, V., Wrolstad, R. E., 1990. Characterization of Anthocyanin-Containing Colorants and Fruit Juices by HPLC/Photodiode Array Detection *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 3, 698-708p.
- <http://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/sigma/19283?lang=en®ion=TR>, (Erişim tarihi: 11.12.2015).
- https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cyanidin_3-o-glucoside.svg (Erişim tarihi 11.12.2015).
- <https://en.wikipedia.org/wiki/Genkwanin>, (Erişim tarihi: 11.12.2015).
- https://en.wikipedia.org/wiki/Peonidin-3-O-glucoside#cite_note-1 (Erişim tarihi: 11.12.2015).
- Hunterlab, 1996. CIE L*a*b* Color Scale, *HunterLab Applications Note*, 8 (7), 1-4.
- Ismal, O.E., 2013. A route from olive oil production to natural dyeing: valorisation of prina (crude olive cake) as a novel dye source, *Coloration Technology, Society of Dyers and Colourists*, 130, 147–153p.
- Ismal, O.E., Ozdoğan, E., Yıldırım, L., 2013. An alternative natural dye, almond shell waste: effects of plasma and mordants on dyeing properties, *Coloration Technology, Society of Dyers, and Colourists*, 129, 431–437p.
- Ismal, O.E., Yıldırım, L., Ozdoğan, E., 2015. Valorisation of almond shell waste in ultrasonic biomordanted dyeing: alternatives to metallic mordants, *The Journal of The Textile Institute*, 106, No. 4, 343–353p.
- Jothi, D. 2008. Extraction of Natural Dyes from African Marigold Flower (*Tagetes Erecta* l) For Textile Coloration, *AUTEX Research Journal*, 8.
- Karaboyaci M., 2014. Recycling of rose wastes for use in natural plant dye and industrial applications, *The Journal of The Textile Institute*, Vol. 105, No. 11 1160–1166 p.
- Karakurt H., Aslantaş R., 2008. Bitki Renk Maddelerinin (Pigmentler) Oluşum ve Değişim Fizyolojisi, *Alatırım*, sayı 7 (1): 34-41p.
- Kır Z.N., Benli N., 2018. Reaktif Boyamalar İçin Formaldehidsiz Fiksator Kullanılarak Pamuklu Kumaşta Haslıkların İncelenmesi, *Tekstil ve Mühendis*, 25: 112, 319-326.
- Kim, D. O., Heo, H. J., Kim, Y. J., Yang, H. S. and Lee, C. Y., 2005. Sweet and Sour Cherry Phenolics and Their Protective Effects on Neuronal Cells, *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 53, 9921-9927p.
- Prutti N., Chawla D.G., Saroj Y., 2008. Dyeing Of Silk with Barberry Bark Dye Using Mordant Combination, *Natural Product Radiance*, 1, 40-44.
- Raja A.S.M. and Thilagavathi, G., 2008. Dyes from Leaves Deciduous Plants With A High Tanin Content For Wool, *Coloration Technology*, 124285–289.
- Saravanan P., Chandramohan G., 2011. Dyeing of Silk with Ecofriendly Natural Dye obtained from Barks of *Ficus Religiosa*.L, *Universal Journal Of Environmental Research And Technology*, 1, 267-273.
- Satindar, K., Chattopadhyay D.P., Varinder, K., 2012. Dyeing Of Bamboo With Tea As A Natural Dye, *Research Journal Of Engineering Sciences*, 4, 21-26.
- Tutak M., Acar G., Akman O., 2014. Nane (*mentha spicata* l.) Ve kekik (*thymus vulgaris* l.) Bitkileri kullanarak yün lifinin doğal boyanması, *Tekstil ve Mühendis (journal of textiles and engineer)*, 21, 18-23pp.
- Tidder, A, Benohoud, M, Rayner, CM, b2018. Extraction of anthocyanins from blackcurrant (*Ribes nigrum* L.) fruit waste and application as renewable textile dyes. In: 91st Textile Institute World Conference Book of Abstracts. 91st Textile Institute World Conference, 23-26 Jul 2018, pp. 18-19.
- Win Z. M, Swe M. M., 2008. Purification of the Natural Dyestuff Extracted from Mango Bark for the Application on Protein Fibres, *Proceedings Of World Academy Of Science, Engineering And Technology*, 36, 472-476p.
- Young-Hee Lee., 2007. Dyeing Fastness and deodorizing Properties of Cotton, Silk, and Wool Fabrics Dyed With Coffee Sludge (*Coffea arabica* L.), *Journal*, 103, 1., pp. 251-257.



ALANYA (ANTALYA) ALT HAVZASI YERALTISULARININ HİDRO-KİMYASI VE KULLANIM ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Arzu ER^{1*}, Şehnaz ŞENER²

¹ Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta, Türkiye

² Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Alanya,
Hidrojeoloji,
Hidro-kimya,
Yeraltısuyu,
Su Kalitesi.

Öz

Bu çalışmada, Alanya alt havzasında yüzeyleyen jeolojik birimlerin hidrojeolojik özellikleri ile yeraltısuyu dinamiğinin yanısıra yeraltısularının hidro-kimyasal özellikleri incelenmiştir. Çalışma alanında Paleozoyik-Kuvaterner zaman aralığında farklı yaş ve litolojiye sahip kaya birimleri yüzeylenmektedir. Bu birimler hidrojeolojik olarak sınıflandırıldığında çalışma alanında taneli ortam akiferi ve karstik akifer birimlerin bulunduğu gözlenmektedir. Havzada Nisan (2021) döneminde yapılan yeraltısuyu seviye ölçümlerine göre yeraltısuyu derinlikleri 0.00-146.71 m arasında değişmekte olup taneli ortam akiferindeki yeraltısuyu akım yönü Akdeniz'e doğrudur. Çalışma alanındaki yeraltısularının hidro-kimyasal özelliklerini belirlemek amacıyla havza içerisindeki sondaj kuyularından yeraltısuyu örnekleri alınarak kimyasal analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, yeraltısularının Ca-HCO₃, Ca-Mg-HCO₃ ve CaSO₄+HCO₃ su tipinde olduğu görülmektedir. Kullanım özellikleri bakımından değerlendirildiğinde yeraltısuları içme suyu olarak kullanılabilir özelliktedir. Sulama suyu olarak kullanımda ise Wilcox (1955) diyagramına göre; S-2 ve S-7 nolu örnekler "iyi-kullanılabilir", diğer tüm örnekler "Çok iyi-iyi" su sınıfındadır. ABD tuzluluk laboratuvarı diyagramına göre ise S-2, S-4 ve S-7 nolu su örnekleri C3S1 (Yüksek tuzlu-düşük sodyumlu) su sınıfında, diğer su örnekleri ise C2S1 (orta tuzlu-düşük sodyumlu) su sınıfındadır.

HYDRO-CHEMISTRY OF GROUNDWATER IN ALANYA (ANTALYA) SUB-BASIN AND INVESTIGATING USAGE CHARACTERISTICS

Keywords

Alanya,
Hydrogeology,
Hydro-chemistry,
Groundwater,
Water Quality.

Abstract

In this study, hydrogeological properties and groundwater dynamics of the geological units surfacing in the Alanya sub-basin as well as the hydro-chemical properties of groundwater were investigated. In the study area, rock units with different ages and lithologies in the Palaeozoic-Quaternary time interval are surfaced. It is observed that there are porous aquifer and karstic aquifer units in the study area. According to the measurements made in April (2021), groundwater depths vary between 0.00 and 146.71 m, groundwater flow direction is towards the Mediterranean Sea. In order to determine the hydro-chemical properties of the groundwater, groundwater samples were taken from boreholes and chemical analyses were performed. It is seen that the groundwaters are Ca-HCO₃, Ca-Mg-HCO₃ and CaSO₄+HCO₃ water types. When evaluated in terms of usage characteristics, groundwater can be used as drinking water. According to Wilcox (1955) diagram, samples S-2 and S-7 are in "good-usable" water class and all other samples are in "very good-good" water class. According to the US salinity laboratory diagram, water samples S-2, S-4 and S-7 are in C3S1 (high salty-low sodium) water class and the other water samples are in C2S1 (medium salty-low sodium) water class.

Alıntı / Cite

Er, A., Şener, Ş., (2023). Alanya (Antalya) Alt Havzasının Hidrojeolojisi ve Yeraltısularının Hidro-kimyasal İncelenmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(4), 1607-1623.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

A. Er, 0000-0002-4749-7603
Ş. Şener, 0000-0003-3191-2291

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	28.11.2023
Revizyon Tarihi / Revision Date	23.12.2023
Kabul Tarihi / Accepted Date	24.12.2023
Yayın Tarihi / Published Date	30.12.2023

* İlgili yazar / Corresponding author: sehnazsener@sdu.edu.tr, +90-246-211-1332

HYDRO-CHEMISTRY OF GROUNDWATER IN ALANYA (ANTALYA) SUB-BASIN AND INVESTIGATING USAGE CHARACTERISTICS

Arzu ER¹, Şehnaz ŞENER²

¹ Süleyman Demirel University, Institute of Science and Technology, Department of Geological Engineering, Isparta, Turkey

² Süleyman Demirel University, Faculty of Engineering, Department of Geological Engineering, Isparta, Turkey

Highlights (At least 3 and maximum 4 sentences)

- Groundwater is used as drinking and irrigation in the Alanya sub-basin.
 - Groundwater depths in the basin vary between 0.00-146.71 m.
 - The dominant water types are Ca-HCO₃, Ca-Mg-HCO₃ and CaSO₄+HCO₃.
 - Groundwater is suitable for use as drinking and irrigation water.
-

Purpose and Scope

In this study, it is aimed to evaluate the geological and hydrogeological characteristics of the Alanya Sub-basin in the Mediterranean Region and to reveal the current hydro-chemical properties and utilization conditions of the groundwater in the study area by using different diagrams.

Design/methodology/approach

The 1/100.000 scale geological map of the study area was prepared by examining the previous geological studies in the region in detail and making use of field observations. Geological units were evaluated according to their hydrogeological properties, hydrogeological map was prepared and aquifer units in the area were defined. Determination of the groundwater level and flow direction of the study area static level measurements were made in the boreholes drilled by SHW in April 2021 and groundwater level map was prepared. Water samples were taken from 9 different locations in the study area during April (2021) to determine the chemical properties of groundwater (DSİ, 2022). Polyethylene bottles with sealed lids were used for water sampling. Temperature (T), electrical conductivity (EC) and hydrogen ion concentration (pH) values of the samples were measured in situ using HAC multiparameter device. General chemical properties were evaluated and interpreted using Schoeller (1955), Piper (1944), Wilcox (1955) and US salinity (Richards, 1954) diagrams.

Findings

Rock units with different ages and lithologies in the Palaeozoic-Quaternary time interval are observed in the study area. When these units are classified hydrogeological, it is observed that there are granular media aquifer and karstic aquifer units in the study area. According to the groundwater level measurements made in the basin in April (2021), groundwater depths vary between 0.00-146.71 m and the groundwater flow direction in the granular media aquifer is towards the Mediterranean Sea. In order to determine the hydro-chemical properties of the groundwater in the study area, groundwater samples were taken from boreholes in the basin and chemical analyses were performed. When the results obtained are evaluated, it is seen that the groundwaters are Ca-HCO₃, Ca-Mg-HCO₃ and CaSO₄+HCO₃ water types. When evaluated in terms of usage characteristics, groundwater can be used as drinking water. According to Wilcox (1955) diagram, samples S-2 and S-7 are in "good-usable" water class and all other samples are in "very good-good" water class. According to the US salinity (Richards, 1954) diagram, water samples S-2, S-4 and S-7 are in the C3S1 (high saline-low sodium) water class, while the other water samples are in the C2S1 (medium saline-low sodium) water class.

Practical implications (if applicable)

The hydro-chemical properties, water quality and utilization characteristics of groundwater in the study area, which is one of the important sub-basins of the Antalya Basin, were revealed in this study. All these data obtained will be useful for the sustainable management of water resources and proper utilization planning in the study area.

Social Implications (if applicable)

The fact that the groundwater in the study area is potable especially in terms of quality and chemical properties is a very important gain for the people of the region.

Originality

According to the literature searches, there is no study on the hydrogeological characteristics, groundwater dynamics, hydro-chemical properties of groundwater, and usage characteristics of groundwater as drinking and irrigation water in Alanya sub-basin. This situation shows that this study is an important study that will be of great benefit in the planning of the protection and utilization of the water resources of the region.

1. Giriş (Introduction)

Su, biyolojik yaşamın temel taşı olarak kabul edilir ve canlı organizmaların yaşamını sürdürebilmesi için kritik bir öneme sahiptir. Mikroorganizmalardan en karmaşık canlı varlıklara kadar, su, biyolojik süreçlerin gerçekleşmesi ve sürdürülmesi için gereklidir. Aynı zamanda, su, insan faaliyetlerini destekleyen temel bir kaynaktır. Ancak, dünya genelindeki su kaynakları değerlendirildiğinde, kullanılabilir su miktarının sınırlı olduğu görülmektedir. Dünya genelindeki toplam su miktarı yaklaşık 1,36 milyar km³'tür. Bu miktarın büyük bir çoğunluğu, % 97.5'i tuzlu su olarak bilinirken, sadece %2,5'i tatlı sudur (Shiklomanov vd., 2003). Bu durum, su kaynaklarının etkili bir şekilde yönetilmesi ve sürdürülebilir bir şekilde kullanılması gerekliliğini ortaya koymaktadır. Su kaynaklarının sürdürülebilirliği, küresel ölçekte suyun etkili bir biçimde kullanılmasını ve korunmasını içeren stratejik önem taşımaktadır. Bu bağlamda, suyun dengeli bir şekilde yönetilmesi, suyun kalitesinin korunması ve su kaynaklarının verimli kullanılması, hem ekosistemlerin hem de insan topluluklarının sağlığı için kritik bir konudur. Bu nedenle, su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi, küresel düzeyde önemli bir öncelik haline gelmiştir. Yeraltı suları ise özellikle de kurak ve yarı kurak bölgelerde birincil tatlı su kaynağıdır (Dehbandi vd., 2019). Yeraltı suyunun evsel, endüstriyel ve tarımsal amaçlar için bir su kaynağı olarak önemi her geçen gün daha da artmaktadır. Bununla birlikte, hem doğal olaylar hem de insan faaliyetleri nedeniyle yeraltı suyu kalitesi ve miktarı su ihtiyaçlarını karşılayamaz duruma gelmektedir (Morris vd., 2003; Khan vd., 2020). Tuzlu yeraltı suyu sorunu ise özellikle su kaynaklarının sınırlı olduğu bölgelerde küresel ölçekte önemli bir sorundur (Lapworth vd. 2017; Wang vd., 2012).

Ülkemizin yeraltı suyu kaynakları, özellikle alüvyonlu ova akiferleri ve karbonatlı kayaç akiferleri olmak üzere iki temel tipe odaklanmaktadır. Alüvyonlu ova akiferleri, genellikle düşük verimli olup tuzlanma riski ile karşı karşıyadır, özellikle kıyı bölgelerinde bulunmaktadır. Ancak, tektonik etkilerin belirgin olduğu fay hatlarına sahip havzalardaki alüvyonlu ova akiferleri, yüksek verimlilik göstermektedir. Ülkemizin yaklaşık üçte birini oluşturan karstik alanlar, yeraltı suyu kaynakları açısından önemli bir potansiyele sahiptir. Bu alanlarda yüksek karstlaşma, yeraltı sularının birikmesine ve akiferlerin oluşmasına olanak tanır. Özellikle içme suyu ihtiyacını karşılamada güvenilir bir kaynak olarak kabul edilen yeraltı sularının miktarı ve kullanım özellikleri, birçok araştırmacının odaklandığı bir çalışma konusunu oluşturmaktadır (Ekmekçi vd., 2003; Bozdağ 2017). Bu bağlamda, yeraltı suyu kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi ve korunması, hem alüvyonlu ova akiferlerindeki tuzlanma tehdidiyle mücadele edilmesini hem de karstik alanlardaki zengin su kaynaklarının etkin bir şekilde kullanılmasını içermelidir. Bu, su kaynaklarının dengeli bir şekilde yönetilmesi ve gelecek nesillere aktarılabilir durumda kalması için önemli bir adımdır (Koçbay 1997; Davraz ve Ünver, 2014; Arslan ve Demir, 2011; Demer ve Hepdeniz, 2018; Şener vd., 2021a, Şener vd., 2021b; Şener vd., 2022). Bu çalışmada, Akdeniz Bölgesinde bulunan Alanya alt havzasının jeolojik ve hidrojeolojik özellikleri değerlendirilerek çalışma alanındaki yeraltı sularının mevcut durumdaki hidro-kimyasal özelliklerinin ve kullanım koşullarının farklı diyagramlar kullanılarak ortaya koyulması amaçlanmıştır.

2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Çalışma alanı olarak seçilen Alanya alt havzası Antalya havzasının doğusunda yer almaktadır. Yılmaz ve Kaymak (2018) tarafından yapılan çalışmada Dim Çayı havzasının jeomorfolojik özellikleri incelenmiştir. Alanya alt havzası içerisinde akışını sürdüren Dim Çayı, Yağmurhacı Tepe yamaçlarından kaynağını alarak güneybatı yönünde akış göstermekte ve Alanya'nın Tosmur ve Kestel beldeleri civarında denize dökülmektedir. Dim Çayı havzasındaki morfolojik unsurların evriminde, sadece tektonik faaliyetlerin değil aynı zamanda flüvyal etkilerin de belirgin bir rol oynadığı gözlemlenmektedir. Bu etkenlerin yanı sıra, sahada meydana gelen karstlaşma olayları da oldukça yoğundur. Çözünme olaylarına bağlı olarak oluşum gösteren karstik birimler bazı bölgelerde karst topoğrafyasının belirgin bir şekilde gelişmesine neden olmaktadır. Havzadaki temel morfolojik birimler arasında dağlık alanlar, tepelik bölgeler, aşınım yüzeyleri, vadiler ve boğazlar, yamaç döküntüleri, asılı vadiler ve karstik oluşumlar (lapyta, dolin, mağara vb.) bulunmaktadır. Alanya yerleşim merkezinin kuzey-kuzeydoğusunda bulunmakta olan Oba çayı alt havzasının hidrojeolojik özellikleri Şener ve Şener (2023) tarafından incelenmiştir. Çalışma kapsamında Oba çayından ve üç farklı sondaj kuyusundan alınan yüzey ve yeraltı suyu örneklerinin kimyasal analizleri gerçekleştirilerek suların hidro-kimyasal özellikleri araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, su örneklerinin tamamı Ca-HCO₃ bileşenli sular sınıfında yer almakta olup içme ve sulama suyu olarak kullanılabilir niteliktedir. Yeraltı sularının EC değerleri, yüzey sularına kıyasla belirgin bir şekilde yüksek ölçülmüştür.

Yapılan literatür araştırmalarına göre Alanya alt havzası özelinde hidrojeolojik özellikleri, yeraltı suyu dinamiği, yeraltı sularının hidro-kimyasal özellikleri, içme ve sulama suyu olarak kullanım özelliklerine yönelik bir çalışma bulunmamaktadır. Bu durum, yapılan çalışmanın bölge su kaynaklarının koruma ve kullanım planlamalarının yapılması aşamasında büyük fayda sağlayacak önemli bir çalışma olduğunu göstermektedir.

3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

3.1. Çalışma Alanı (The Study Area)

Çalışma alanı, Antalya ilinin yaklaşık 154 km güneydoğusunda bulunan Alanya ilçesi ve çevresinde, yaklaşık 411 km²lik bir alanı kapsamaktadır (Şekil 1). Çalışma alanı Akdeniz Bölgesi'nin önemli ilçelerinden olup, 1/25 000 ölçekli Alanya O27-c3, Alanya O28-ca, c3, c4, d1, d2, d3 ve d4, Alanya P28-a1, P28-a2 no.lu paftaları içerisinde yer almaktadır. Alanya ilçesine bağlı 102 mahalle bulunmakta olup toplam nüfusu 2022 yılına göre 364 180 kişidir (TÜİK, 2022). Alanya'nın ülke turizmde oldukça büyük bir payı vardır. Bölgenin geçim kaynakları arasında seracılık ve narenciye üretimi bulunmaktadır. Çalışma alanında Akdeniz İklimi hakimdir. Kışın yağış çok fazla iken yazları sıcak ve yağışsız geçmektedir. Alara Çayı, Kargı Çayı, Oba Çayı, Dim Çayı ve Karpuz Çayı çalışma alanının en önemli akarsularıdır.

3.2. Çalışma Yöntemleri (Methods)

Çalışma alanının 1/100.000 ölçekli jeoloji haritası, önceki jeolojik çalışmaların ayrıntılı bir incelenmesi ve saha gözlemleri temel alınarak oluşturulmuştur. Bu harita, bölgenin jeolojik yapısını detaylı bir şekilde göstererek, arazide bulunan farklı jeolojik birimleri tanımlamaktadır. Hidrojeolojik özelliklere dayanarak yapılan değerlendirmeler sonucunda, çalışma alanında yer alan akifer birimleri belirlenmiş ve bu birimlerin özellikleri saptanmıştır. Hidrojeoloji haritası, suyun yeraltındaki hareketini ve depolanmasını etkileyen jeolojik özellikleri vurgulamaktadır. Çalışma alanında yeraltı suyu seviyesi ve akım yönünün belirlenmesi amacıyla, Nisan 2021'de Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından açılmış olan sondaj kuyularında statik seviye ölçümleri yapılmış ve bu veriler kullanılarak yeraltı suyu seviye haritası oluşturulmuştur. Ayrıca, çalışma alanındaki 9 farklı lokasyondan Nisan 2021'de su örnekleri alınmıştır. Su örnekleri alınırken sızdırmaz kapaklı polietilen şişeler kullanılarak örneklerin kalitesi korunmuştur. Alınan su örneklerinin sıcaklık (T), elektriksel iletkenlik (EC) ve hidrojen iyonu konsantrasyonu (pH) değerleri, HAC multiparameter ölçüm cihazı kullanılarak yerinde ölçülmüştür. Laboratuvar analiz sonuçlarından elde edilen veriler, yeraltı suyunun iyon özelliklerinin belirlenmesinde kullanılmıştır. Genel kimyasal özellikler değerlendirilmiş ve Schoeller (1955), Piper (1944), Wilcox (1955) ve ABD tuzluluk (Richards, 1954) diyagramları kullanılarak elde edilen veriler yorumlanmıştır.



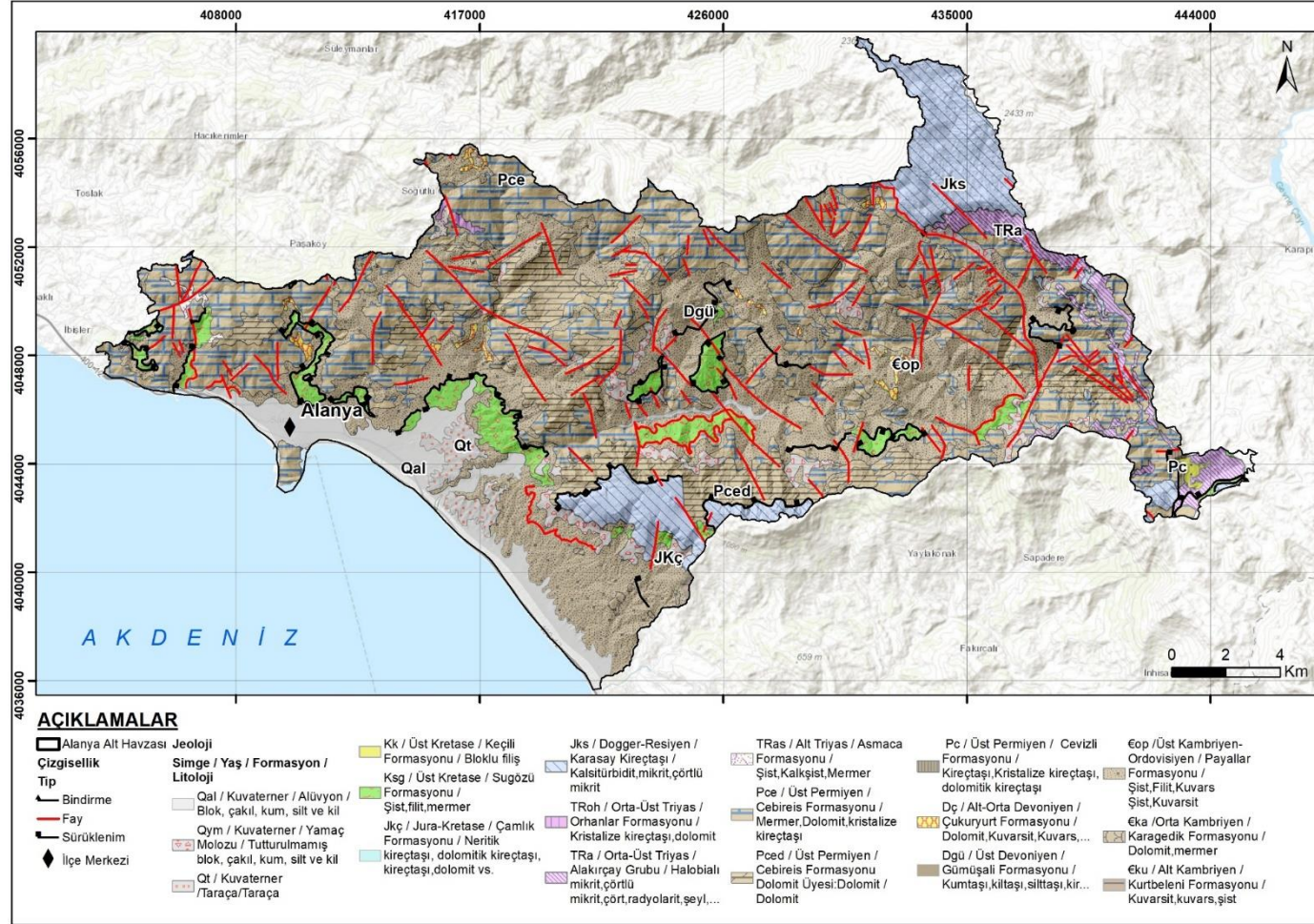
Şekil 1. Çalışma Alanının Yerbulduru Haritası (Location Map Of The Study Area)

4. Araştırma Bulguları (Research Findings)

4.1. Çalışma Alanının Jeolojisi (Geology Of The Study Area)

Çalışma alanın 1/100.000 ölçekli jeoloji haritası arazi ve literatür çalışmaları sonucunda hazırlanmış ve Şekil 2'de sunulmuştur. Çalışma alanında Prekambriyen'den günümüze kadar farklı zaman dilimlerinde oluşmuş birçok kaya birimi yüzeylenmektedir. Çalışma alanının temelini Kambriyen yaşlı birimler oluşturmaktadır. Çalışma alanında Alanya-Yeniköy, Payallar, Soğukpınar, Demirtaş yerleşim yerlerinde gözlemlenen Alt Kambriyen yaşlı Kurtbeleni Formasyonu (Éku) orta-kalın tabakalı, beyaz, kirli beyaz, kırmızı kahve, sarımsı kahve, siyah renkli, yer yer yeşilimsi renkli, yapraklanmalı kuvars şist ara seviyeli kuvarsitlerden oluşmaktadır ve yaklaşık 150-300 m. kalınlık sunmaktadır (Usta ve Öztürk, 2000). Usta ve Öztürk (2000) tarafından çalışılan Karagedik Formasyonu (Éka), çalışma alanında Alanya-Yeniköy, Payallar, Türkteş, Kargıcak, Seki, Kocaoğlanlı ve Sapadere'de gözlemlenmektedir. Orta Kambriyen yaşlı, yaklaşık 250 metre kalınlık sunan birim, genellikle gri, kirli sarı, kahve renkli, masif görünümlü, kalın tabakalı, erime boşluklu yer yer silis yumrulu dolomitlerden oluşmaktadır (Usta ve Öztürk, 2000). Kurtbeleni Formasyonu üzerinde uyumlu olarak bulunan Karagedik Formasyonu, üstte Payallar Formasyonu tarafından geçişli olarak örtülmektedir (Şenel vd.,2016).

Payallar Formasyonu (ÉOp) çalışma alanında özellikle Alanya-Kargıcak, Payallar, Gümüşkavak, Konaklı civarında geniş alanlarda yüzlek vermektedir. Birim, kuvarsit, yumrulu kireçtaşı, mermer dolomit ara katkılı düşük derecede metamorfizma geçirmiş şistlerden oluşmaktadır (Öztürk vd., 1995). Üst Kambriyen-Ordovisyen yaşlı birim, yeşil, gri, yeşilimsi gri, koyu yeşil, nefti yeşil, sarımsı gri, sarımsı kahve, siyahımsı gri, kurşuni gri, mavimsi vb. renklerde klorit şist ve kuvarşistlerden oluşmaktadır ve 1000 m. kalınlık göstermektedir (Şenel vd., 2016). Çalışma alanında özellikle Alanya-Uğurlu, Dereköy, Değirmendere, Türkbaş civarında, geniş alanlarda yüzlek veren Alt Devoniyen yaşlı Çukuryurt Formasyonu (Dç), orta-kalın, yersel ince tabakalı, gri, kirli beyaz, yeşilimsi gri, kirli sarı, kırmızımsı kahve vb. renklerde kuvarşist, kuvarsit ve kuvars-klorit şistlerden oluşmaktadır (Öztürk vd., 1995). Özgül (1983) tarafından adlandırılan Cebireis Formasyonu (Pce) çalışma alanında Alanya-Demirtaş ve Beldibi'nde yüzlek vermektedir (Şekil-2). Üst Permiyen yaşlı formasyon, genellikle dolomit, dolomitik kireçtaşı, kristalize kireçtaşı ve mermerlerden oluşmaktadır (Özgül, 1983). Cebireis Formasyonu Dolomit Üyesi (Pced), çalışma alanında Oba Alacami, Uzunöz, Bucaköy, Çıplaklı ve Değirmendere yerleşim yerlerinde yüzeylenmektedir (Şekil-2). Birim, masif, kalın tabakalı, gri, koyu gri, kirli sarı, ince-orta, yersel kristalli, kırıklı, dağılgan dolomitlerle temsil edilmektedir ve yersel dolomitik-kristalize kireçtaşı seviyeleri görülebilmektedir. Birim, yaklaşık 250 metre kalınlık göstermekte olup Üst Permiyen yaşlıdır (Şenel vd.,2016). Çalışma alanında Alanya'nın doğusunda Çamlıalan ve Badem köyleri arasında dar bir alanda yüzeylenen Cevizli Formasyonu (Pc) Alt Permiyen yaşlıdır (Şekil-1). Kireçtaşı, onkoidli kireçtaşı, kuvarsit vb. kaya türlerinden oluşan formasyon yer yer bol brakiyapod, krinoid ve fusulinlidir (Monod, 1977). Demirtaşlı (1967) tarafından adlandırılan Üst Devoniyen yaşlı Gümüşali Formasyonu (Dgü), kumtaşı, kireçtaşı, kuvarsit ve dolomit ara seviyeli şeyllerden oluşmaktadır (Şenel vd., 2016). Alt Triyas yaşlı Asmaca Formasyonu (TRas), klorit-serizit şist, kloritoyid şist ve kalkşistlerden oluşmaktadır ve 200 metre kalınlık sunmaktadır (Özgül, 1983). Cebireis Formasyonu üzerinde uyumsuz olarak bulunan Asmaca Formasyonu, üstte Orhanlar Formasyonu tarafından uyumsuz olarak örtülmektedir (Şenel vd.,2016). Alakırçay Grubu, çalışma alanında, Alanya-Alacami civarında geniş alanlarda yüzeylenmektedir (Şekil-2). Orta-Üst Triyas yaşlı formasyon, bitkili kumtaşı, şeyl, yastık yapılı spilit, spilitleşmiş bazalt, radyolarit, çört ve Halobia'lı kireçtaşlarından oluşmaktadır (Şenel vd., 1981). Orhanlar Formasyonu (TRoh), Alanya'nın kuzeyinde yer alan Dereköy civarında yüzeylenmektedir (Şekil-2). Orta Triyas yaşlı Orhanlar Formasyonu, gri, koyu gri, sarımsı gri, açık gri, bej, mavimsi gri vb. renklerde, masif, orta-kalın tabakalı, sık çatlaklı, yer yer dağılgan, bazen erime boşluklu dolomitlerden oluşmaktadır (Usta ve Öztürk, 2000). Jura-Kretase yaşlı Karasay Kireçtaşı (Jks) Alanya'nın doğusunda Gözüküçüklü ve Alacami köyünün kuzeyinde geniş alanlarda yüzlek vermektedir (Şekil-2). Birim, başlıca Jura-Kretase yaşlı çörtlü kireçtaşı ara seviyeli breşik kireçtaşlarından oluşmaktadır. Karasay kireçtaşı, orta-kalın tabakalı, gri, koyu gri, kahverengimsi gri renkli, alg, mercan ve bryozoalı, ince şeyl ve kumlu kireçtaşı ara seviyeli breşik ve konglomeratik kireçtaşları ile başlamaktadır (Şenel vd.,2016). Sığ karbonat self ortamında çökelen Jura-Kretase yaşlı Çamlık Formasyonu (JKç), altta masif ve kalın tabakalı, gri, koyu gri, açık gri, bej, sarımsı kahve, yer yer siyahımsı gri renkli dolomitlerle başlamaktadır (Şenel, 1977b). Birim üstte orta-kalın tabakalı, bej, krem, açık gri, gri, kirli sarı vb. renkli rudistli kireçtaşları ile sonlanmaktadır (Şenel vd., 2016). Sugözü Formasyonu (Ksg) çalışma alanında, Dereköy, Çıplaklı, Tırılar, Gözüküçüklü ve Kuzyaka'da gözlenmektedir (Şekil-2). Özgül (1983) tarafından adlandırılan Üst Kretase yaşlı birimin egemen kaya türünü yeşil, kirli sarı, gri, yeşilimsi gri, açık kahve, mavimsi gri, kurşuni, kırmızı kahve vb. renklerde, ince-orta-kaba yapraklanmalı granatlı mikasistler oluşturur (Şenel vd.,2016). Üst Kretase yaşlı Keçili Formasyonu (Kk), yeşil, yeşilimsi gri, koyu gri, yeşilimsi kahve, gri, sarımsı kahve vb. renklerde, ince-orta-kalın tabakalı, kumtaşı, silttaşı, kiltası ve konglomeralardan oluşmaktadır (Şenel vd., 1981).



Şekil 2. Çalışma Alanının Jeoloji Haritası (Geological Map Of The Study Area)

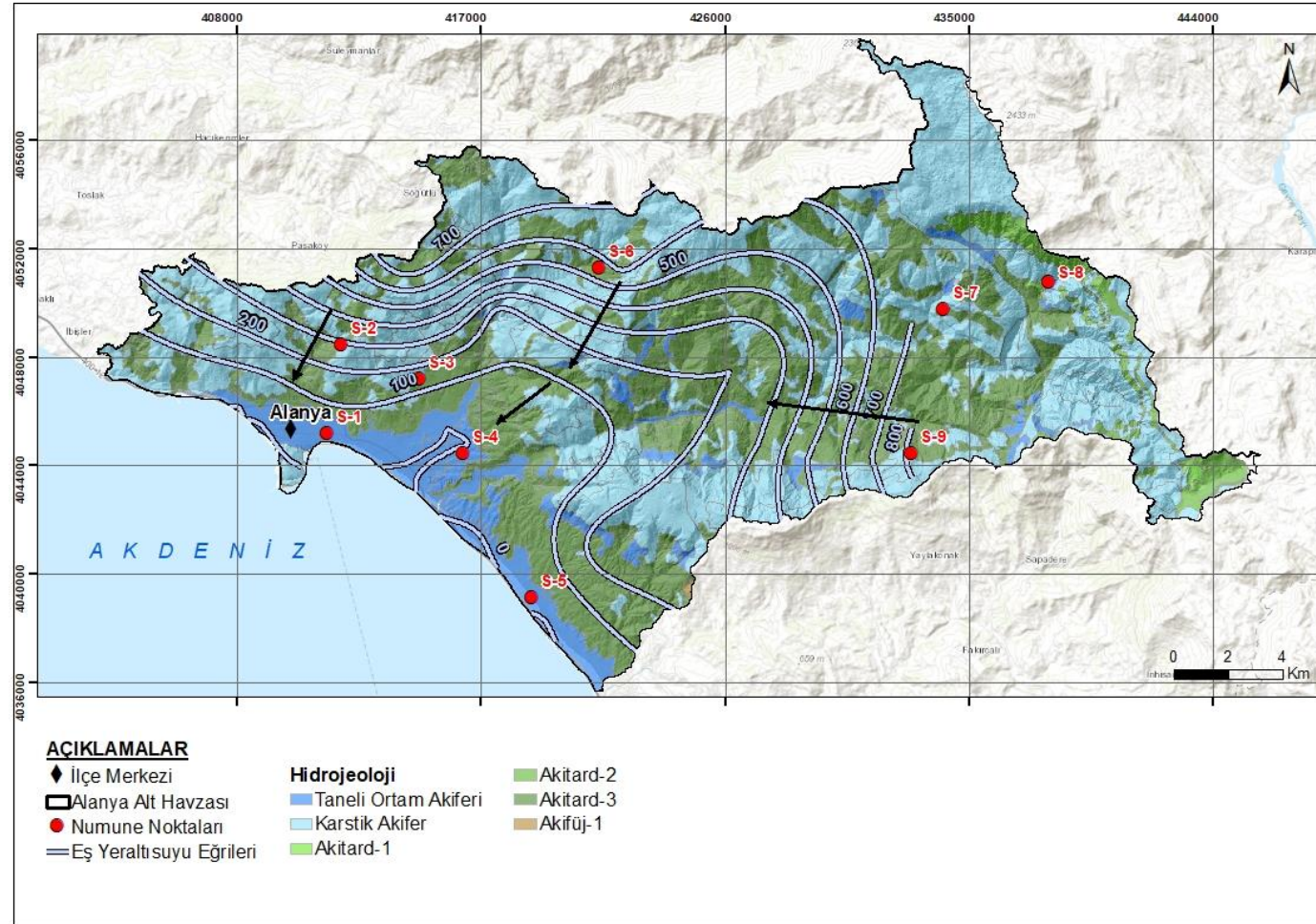
Kuvaterner yaşlı taraça (Qt) birimi, Alanya'nın doğusunda Kestel'in kuzeyinde, Çıplaklı'nın güneyinde dar bir alanda yüzeylenmektedir (Şekil-2). Pleyistosen yaşlı birim, tutturulmuş konglomera ve kumtaşlarından oluşmaktadır. Taraça birimi, Blumenthal (1951) tarafından tanımlanan Belkis konglomerasının karşılığıdır (Şenel vd.,2016). Kuvaterner yaşlı yamaç molozu (Qym), genellikle yamaç eteklerinde bulunan, çevre kayaç parçalarını içeren, yer yer tutturulmuş, çoğunlukla da tutturulmamış güncel çökellerdir (Şekil 2). Alüvyon (Qal) birimi, nehir yataklarında ve taşkın düzlüklerinde kum, çakıl, blok, kil ve siltten oluşan güncel çökellerden oluşmaktadır. (Şekil-2).

4.2. Çalışma Alanının Hidrojeolojisi Ve Yeraltısu Dinamiği (Hydrogeology And Groundwater Dynamics Of The Study Area)

Araştırma bölgesindeki litolojik birimler, geçirgenlik özelliklerine göre değerlendirilerek sınıflandırılmış ve bölgenin hidrojeoloji haritası oluşturulmuştur (Şekil 3). Çalışma alanındaki jeolojik birimler, fiziksel ve hidrojeolojik özellikleriyle akifer potansiyeli açısından altı farklı grupta incelenmiştir: Taneli Ortam Akiferi, Karstik Akifer, Akitard-1, Akitard-2, Akitard-3 ve Akifüj-1. Bu gruplar, çalışma alanında yeraltısuyunun hareketi, depolanması ve çıkarılmasını etkileyen temel faktörler dikkate alınarak oluşturulmuştur. Detaylar Tablo 1'de sunulmuştur. Karagedik Formasyonu, Cevizli Formasyonu, Cebireis Formasyonu, Cebireis Formasyonu Dolomit Üyesi, Orhanlar Formasyonu, Karasay Kireçtaşı, Çamlık Formasyonu "Karstik Akifer", Gümüşali Formasyonu ve Keçili Formasyonu "Akitard-1", Alakırçay Grubu "Akitard-2", Payallar Formasyonu, Çukuryurt Formasyonu, Asmaca Formasyonu ve Sugözü Formasyonu "Akitard-3", taraça (Qt) birimi, yamaç molozu (Qym) ve alüvyon (Qal) birimi "taneli ortam akiferi" olarak sınıflandırılmıştır (Tablo 1). Çalışma alanında yeraltısu derinlikleri 0.00-146.71 m. arasında, seviyesi ise -11.15 ile 1286.55 m. arasında değişmektedir. Yeraltısu akım yönü Akdeniz'e doğru olup yeraltısu hareketi hidrolojik eğim ile uyumludur (Şekil 4).

Tablo 1. Litolojik Birimlerin Hidrojeolojik Sınıflaması (Hydrogeological Classification Of Lithological Units)

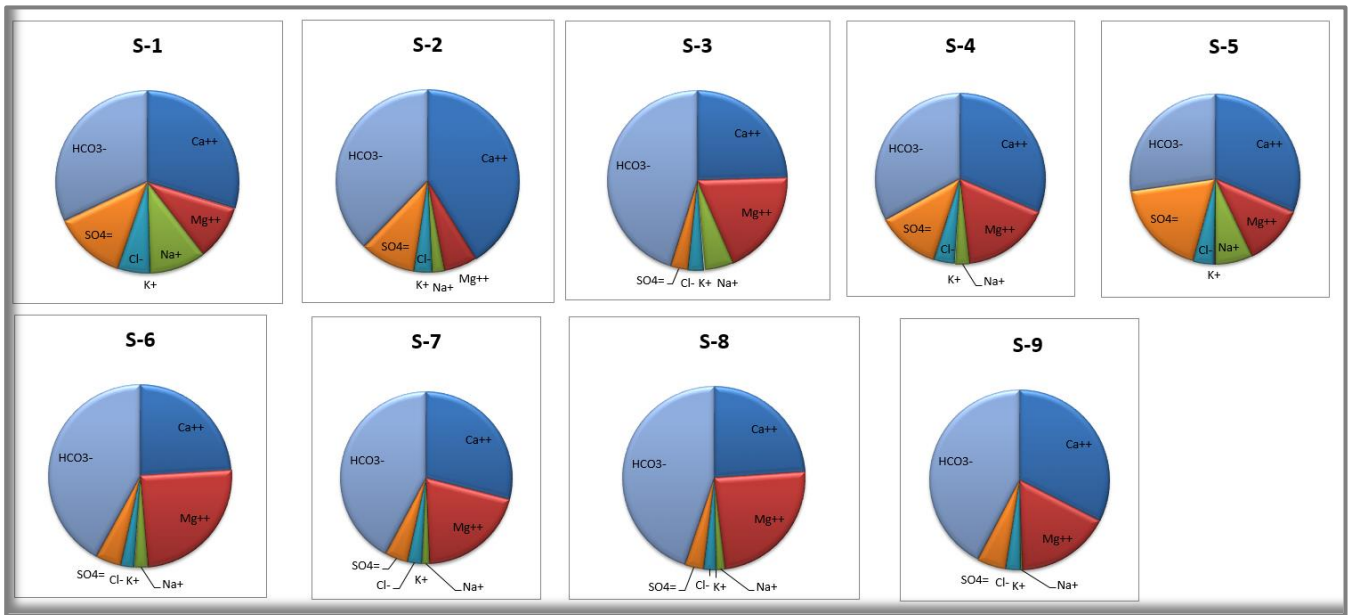
Yaşı	Formasyon Adı	Litoloji	Hidrojeolojik Sınıflama
Kuvaterner	Alüvyon, Yamaç Molozu, Taraça	Tutturulmamış çakıl, kum, kil, silt	Taneli Ortam Akiferi
Üst Kretase	Keçili Formasyonu	Bloklı Fliş	Akitard-1
Üst Kretase	Sugözü Formasyonu	Şist, Fillit, Mermer	Akitard-3
Jura-Kretase	Çamlık Formasyonu	Neritik Kireçtaşı, Dolomitik Kireçtaşı, Kireçtaşı, Dolomit.	Karstik Akifer
Dogger-Resiyen	Karasay Kireçtaşı	Kireçtaşı	Karstik Akifer
Orta-Üst Triyas	Orhanlar Formasyonu	Kristalize Kireçtaşı, Dolomit	Karstik Akifer
Orta-Üst Triyas	Alakırçay Grubu	Mikrit, Çört, Radyolarit, Şeyl	Akitard-2
Alt Triyas	Asmaca Formasyonu	Şist, Kalkşist, Mermer	Akitard-3
Üst Permiyen	Cebireis Formasyonu	Mermer, Dolomit, Kristalize Kireçtaşı	Karstik Akifer
	Cebireis Formasyonu Dolomit Üyesi	Dolomit	Karstik Akifer
Üst Permiyen	Cevizli Formasyonu	Kireçtaşı, Kristalize Kireçtaşı, Dolomitik Kireçtaşı	Karstik Akifer
Alt-Orta Devoniyen	Çukuryurt Formasyonu	Dolomit, kuvarsit	Akitard-3
Üst Devoniyen	Gümüşali Formasyonu	Kumtaşı, Kiltası, Siltaşı	Akitard-1
Üst Kambriyen-Ordovisyen	Payallar Formasyonu	Şist, Fillit, Kuvars, Şist, Kuvarsit	Akitard-3
Orta Kambriyen	Karagedik Formasyonu	Dolomit, mermer	Karstik Akifer
Alt Kambriyen	Kurtbeleni Formasyonu	Kuvarsit, kuvars, şist	Akifüj-1



Şekil 3. Çalışma Alanının Hidrojeoloji Haritası Ve Yeraltı Suyu Dinamiği (Hydrogeological Map Of The Study Area And Groundwater Dynamics)

4.3. Yeraltısularının Hidro-Kimyasal Değerlendirilmesi (Hydro-Chemical Evaluation Of Groundwater)

Nisan 2021'de, araştırma sahasındaki yeraltısularının kalitesi, kullanım koşulları ve hidrokimyasal özelliklerini belirlemek üzere 9 farklı konumdan yeraltısuyu örnekleri alınmıştır. Çalışma alanındaki yeraltısularının iyon özelliklerini değerlendirmek amacıyla, sertlik, pH (hidrojen iyonu konsantrasyonu), EC (özgül elektriksel iletkenlik), SAR (sodyum adsorbsiyon oranı) ve %Na (sodyum iyon yüzdesi) gibi genel kimyasal özellikler detaylı bir biçimde incelenmiştir. Bu analizler, yeraltısularının kullanım potansiyeli, su kalitesi ve hidrojeokimyasal özellikleri hakkında ayrıntılı bir bilgi elde etmek için gerçekleştirilmiştir. Arazi çalışmaları ile laboratuvar analizleri için örnek alma sürecinde EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$), pH, sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$), Redoks Potansiyeli (mV), Çözünmüş Oksijen (%) ve tuzluluk (%) parametreleri yerinde ölçülmüştür (Tablo 2). Su kalitesi çalışmalarında yerinde yapılan ölçümler, suyun dışarıdan herhangi bir unsurdan etkilenmeden bulunduğu yerdeki özelliklerini belirlemek açısından oldukça önemlidir. Yerinde yapılan ölçümler suların fizikokimyasal özellikleri hakkında anında bilgi sahibi olmamızı sağlamaktadır. Ayrıca yerinde ölçümler sonucunda belirlenen su sıcaklığı, pH, EC, Sıcaklık ve DO parametreleri, laboratuvar analiz sonuçlarından önce olası anomali gösteren parametre değerlerinin değerlendirilmesi ve olası baskıların tahmini konusunda çalışmalara ışık tutmaktadır. Suların anyon ve katyon analiz sonuçları ise Tablo 3'de verilmiştir. Ayrıca, yeraltısularının iyon bolluk dağılımlarını değerlendirebilmek için % iyon dağılım grafikleri hazırlanmış ve Şekil 4'de sunulmuştur. Suların Piper ve Scholler diyagramları kullanılarak yapılan hidro-kimyasal sınıflandırılmasında su örneklerinin major anyon ve katyon (Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^{+} , K^{+} , SO_4^{-2} , Cl^{-} , HCO_3^{-} , CO_3^{-2}) analiz sonuçlarından yararlanılmıştır.



Şekil 4. Yeraltısuyu Örneklerinin % İyon Dağılım Grafikleri (Ion Distribution Graphs Of Groundwater Samples)

Çalışma alanındaki yeraltısularının toplam sertlik değerleri 0.806 F° ile 2.18 F° arasında değişmekte olup Fransız Sertlik Derecesi 'ne göre "çok yumuşak sular" sınıfında yer almaktadır. Çalışma alanındaki yeraltısuyu örneklerinin pH değerleri $6.99 - 8.52$ arasında olup genel olarak "Bazik karakterli" sular sınıfında yer almaktadır. Sadece S-2 nolu örneğin pH değeri 6.99 olup "Nötr karakterli" sular sınıfındadır.

Çalışma alanından alınan su örneklerinin yerinde ölçümler ile belirlenmiş özgül elektriksel iletkenlik değerleri $264 - 828 \mu\text{S}/\text{cm}$ arasında değişmektedir. Yeraltısularının analiz sonuçlarına göre, SAR değerleri genel olarak 0.019 ile $0,767$ arasında değişmekte olup, S-1 nolu örnek noktası en yüksek SAR değerine sahiptir. Su örneklerinin % Na değerleri ise $0.82 - 19.93$ arasında değişmektedir.

Tablo 2. Çalışma Alanından Alınan Yeraltısuyu Örneklerinin Yerde Ölçüm Sonuçları (In-Situ Measurement Results Of Groundwater Samples Taken From The Study Area)

Örnek No	Mevki	Koordinatlar		Elektriksel İletkenlik EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	pH	Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)	Çözünmüş Oksijen (%)	Redoks Potansiyeli (mV)	Tuzluluk (%)
		X	Y						
S-1	Alanya-Merkez	411299	4045188	642.00	7.44	24.70	7.87	212.40	0.31
S-2	Bektaş Mah.	411839	4048492	789.00	6.99	17.10	3.90	218.20	0.39
S-3	Çıplaklı Mah.	414711	4047199	545.00	7.24	20.10	8.84	223.30	0.26
S-4	Oba Mah.	416304	4044466	752.00	7.17	21.60	8.62	210.10	0.37
S-5	Mahmutlar Mah.	418836	4039154	662.00	7.14	21.80	4.95	234.20	0.32
S-6	Oba Alacami Mah.	421319	4051291	385.00	8.52	15.60	10.21	209.80	0.18
S-7	Taşbaşı Mah.	434057	4049792	828.00	8.04	20.00	8.80	222.40	0.40
S-8	Alacami Mah.	437908	4050804	388.00	8.47	18.50	9.17	218.80	0.19
S-9	Gümüşkavak	432860	4044468	264.00	8.14	14.10	9.65	237.70	0.13

Tablo 3. Çalışma Alanından Alınan Yeraltısuyu Örneklerinin Kimyasal Analiz Sonuçları (Chemical Analysis Results Of Groundwater Samples Taken From The Study Area)

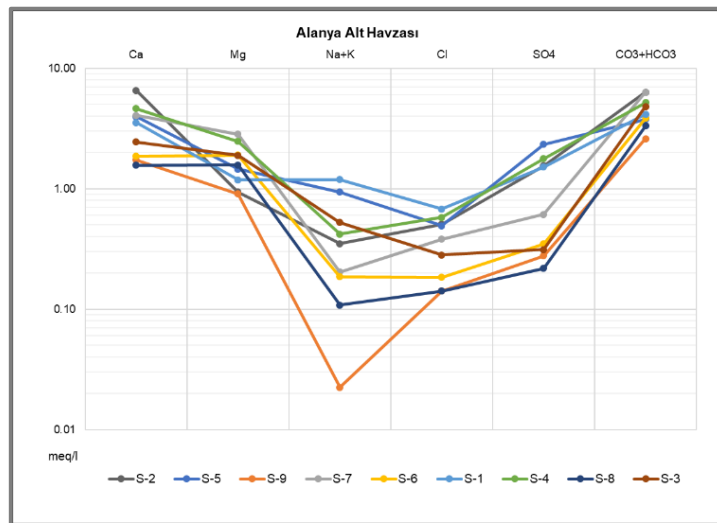
Örnek No	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Ca ⁺⁺ mg/l	Mg ⁺⁺ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ⁼ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	CO ₃ ⁼ mg/l	Sertlik (Fr ^o)	% Na	SAR	Su Sınıfı
S-1	27.1	0.60	70.9	14.4	24.0	72.7	233	<10	1.36	19.94	0.77	C3-S2
S-2	7.95	0.15	131	11.4	18.0	74.3	366	<10	2.02	4.42	0.18	C2-S1
S-3	11.5	0.90	48.9	23	10.0	15.0	274	<10	1.39	10.30	0.34	C2-S1
S-4	9.07	0.95	93.0	30.1	20.5	85.2	297	<10	2.18	5.24	0.21	C3-S1
S-5	20.6	1.56	79.3	17.7	17.5	112	210	<10	1.59	14.11	0.54	C2-S1
S-6	4.14	0.22	37.2	23.1	6.50	16.7	198	18.0	1.25	4.57	0.13	C2-S1
S-7	4.69	<0.1	81.5	34.5	13.5	29.3	360	13.0	2.18	2.87	0.11	C3-S1
S-8	2.35	0.24	31.4	19.2	<5	10.5	179	12.0	1.04	3.13	0.08	C2-S1
S-9	0.51	<0.1	34.8	11.0	<5	13.3	138	<10	0.81	0.82	0.02	C2-S1

4.3.1. Suların Schoeller'e Göre Hidro-Kimyasal Sınıflaması (Hydro-Chemical Classification Of Waters According To Schoeller)

Schoeller (1955) yapmış olduğu sınıflandırmada suları klorür, sülfat ve karbonat miktarlarına göre sınıflandırmıştır. Schoeller diyagramı (Schoeller, 1955) yarı logaritmik bir diyagram olup sulara yer alan katyon (Na, K, Ca ve Mg) ve anyonların (CO_3 , HCO_3 , Cl ve SO_4) eşdeğer ağırlık cinsinden (mek/l) gösterimidir (Şekil 7). Yeraltısularının kimyasal bileşimi, su-kayaç etkileşim süreçleri başka bir ifade ile yüzeyden süzülmeden itibaren boşalım anına kadar akım yolu boyunca temas ettiği kayaların kimyasal bileşimi tarafından kontrol edilmektedir. Suların kimyasal özelliklerini belirlemek için Schoeller (1955) tarafından önerilen diyagramın, yatay (x) ekseninde majör iyonlar eşit aralıklarla yer alırken logaritmik dikey (y) ekseninde ise bu iyonların eşdeğer ağırlık cinsinden konsantrasyonları yer almaktadır. Schoeller diyagramı da suların türü, kökeni, su-kayaç etkileşim süreçleri vb. hidrojeokimyasal değerlendirmeler için kullanılmaktadır. Schoeller (1955)'in yapmış olduğu sınıflamaya göre; alınan su örneklerinin tamamı klorür derişimi bakımından "olağan klorürlü sular" sınıfına, sülfat derişimi bakımından "olağan sülfatlı sular" sınıfına ve karbonat-bikarbonat derişimi bakımından ise alınan tüm örnekler "olağan karbonatlı sular" sınıfında yer almaktadır (Tablo 4, Şekil 5).

Tablo 4. Schoeller (1955) Klorür, Sülfat, Karbonat-Bikarbonat Sınıflaması (Schoeller (1955) Classification Of Chloride, Sulfate, Carbonate-Bicarbonate)

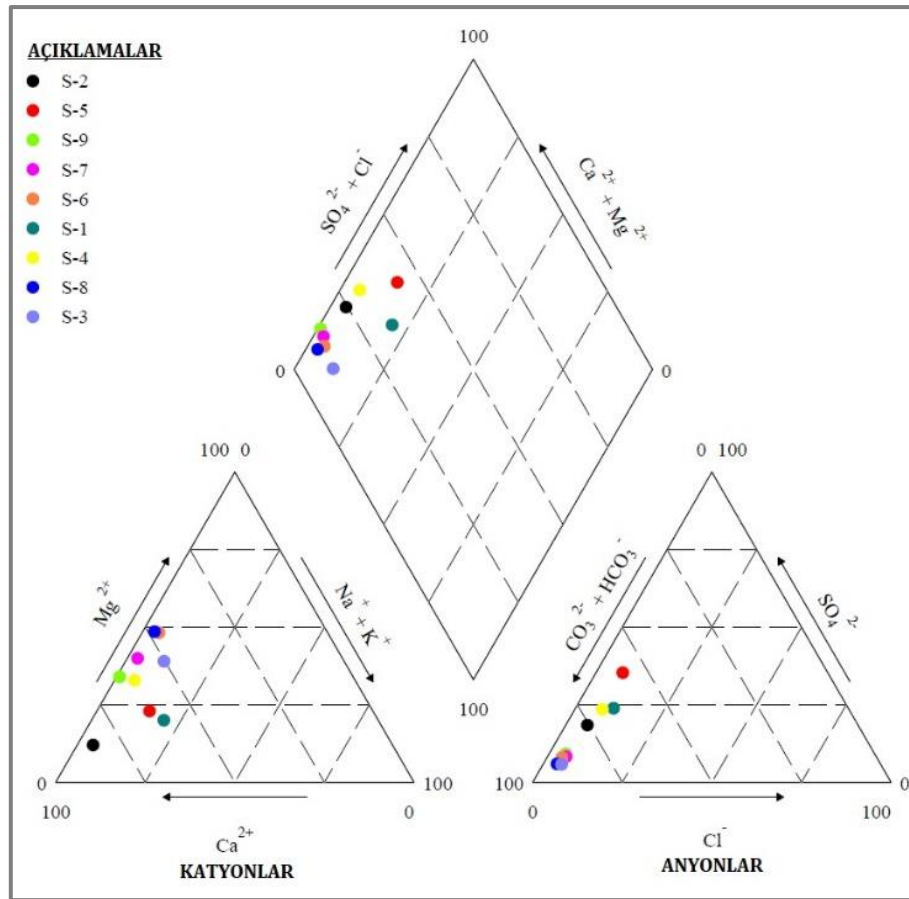
Klorür Sınıflaması	Su sınıfı	Klorür Miktarı (mek/l)
	Hiperklorürlü Sular	> 700
	Klorotalasik Sular	420-700
	Klorürce Zengin Sular	140-420
	Orta Klorürlü Sular	40-140
	Oligoklorürlü Sular	15-40
Olağan Klorürlü Sular	< 15	
Sülfat Sınıflaması	Su sınıfı	Sülfat Miktarı (mek/l)
	Hiposülfatlı Sular	> 58
	Sülfatlı Sular	24-58
	Oligosülfatlı Sular	6-24
Olağan Sülfatlı Sular	< 6	
Karbonat-Bikarbonat Sınıflaması	Su sınıfı	Karbonat+Bikarbonat Miktarı (mek/l)
	Hiperkarbonatlı Sular	> 7
	Olağan Karbonatlı Sular	2-7
	Hipokarbonatlı Sular	< 2



Şekil 5. Scholler Diyagramı (Nisan 2021), (Scholler Diagram (April 2021))

4.3.2. Suların Piper'e Göre Hidro-Kimyasal Sınıflaması (Hydro-Chemical Classification Of Waters According To Piper)

Piper diyagramı, 1944'te Arthur M. Piper tarafından sudaki çözülmüş halde bulunan bileşenlerin (anyon-kasyon) kökeninin anlaşılmasına yardımcı olmak amacıyla oluşturulmuş grafiksel değerlendirme yöntemidir. Bu yöntemde, sularda bulunan kasyonların ve anyonların ayrı ayrı toplamının eş değer ağırlık cinsinden (meq/l) birbirlerine eşit olduğu varsayımı kabul edilmekte ve her bir iyonun yüzde değeri hesaplanarak grafiğe aktarılmaktadır. Çalışma alanındaki yeraltısularını temsil eden su örneklerine ait analiz sonuçları Piper diyagramı üzerinde gösterilerek su örneklerinin hidrojeokimyasal fasiyesleri belirlenmiştir (Şekil 6). Piper diyagramına göre, su örneklerinden S1, S2 ve S3 nolu örneklerin Ca-HCO₃'lü, S6, S-7, S8 ve S4 nolu örneklerin ise Ca-Mg-HCO₃'lü sular fasiyesinde, S-5 nolu örneğin ise CaSO₄+HCO₃'lü sular fasiyesinde olduğu görülmektedir. Bu durum, su örneklerinin alüvyon birim altında yer alan karbonatlı kayalarla kayaç-su etkileşimi içinde olduğunu göstermektedir. Ayrıca, özellikle S5 nolu örnekte gözlenen SO₄ konsantrasyonundaki artış litolojik birimler ile etkileşim esnasındaki silikatların kimyasal olarak ayrışmasından ve/veya yeraltısuyunun antropojenik kirleticilerden etkilenmesi sonucu gözlenmektedir.



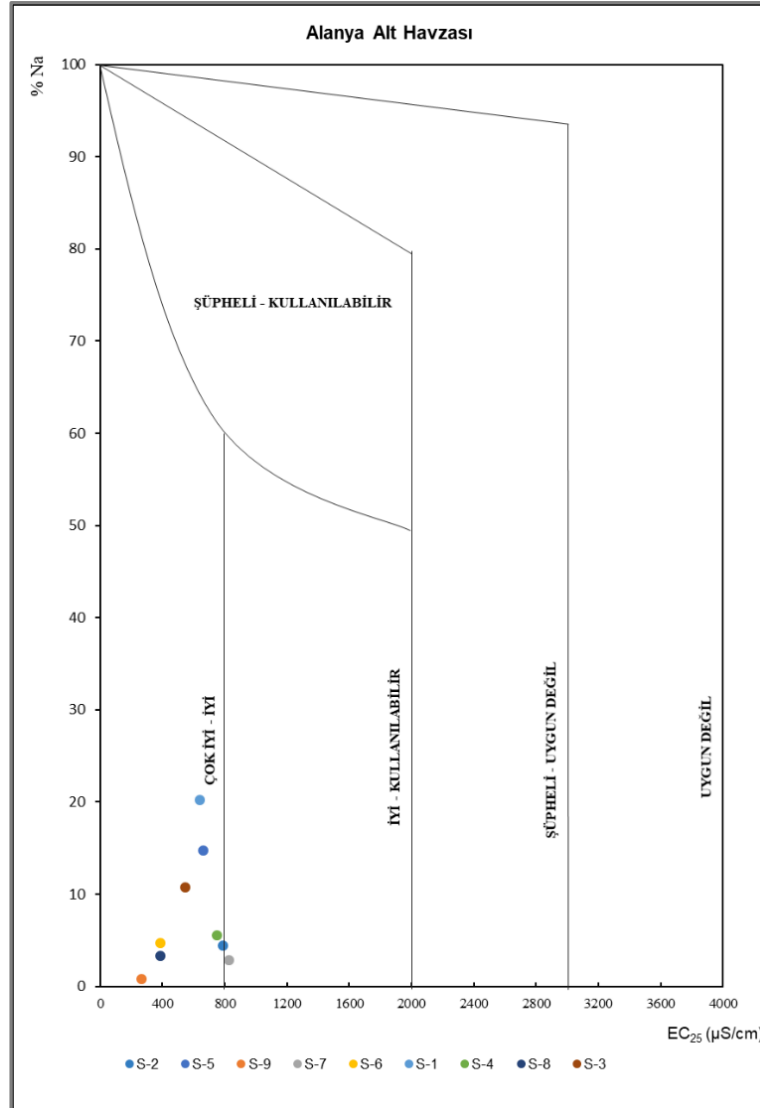
Şekil 6. Piper Diyagramı (Nisan 2021) (Piper Diagram (April 2021))

4.4. Yeraltısularının Kullanım Özelliklerinin Değerlendirilmesi (Evaluation Of The Usage Characteristics Of Groundwater)

Yeraltısuyu örneklerinin kullanım özelliklerinin değerlendirilmesi sırasında öncelikle içme suyu olarak kullanım durumu incelenmiştir. Bu kapsamda, su örneklerinin majör iyon konsantrasyonları ile Tablo 5'de verilmiş olan azot türevleri ve ağır metal analiz sonuçları TSE-266 (2005) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2017) tarafından belirlenen içme suyu limit değerleri ile kıyaslanmıştır. Analiz sonuçlarına göre suların tamamı içme suyu olarak kullanıma uygundur. Yeraltısularının sulama suyu olarak kullanılabilirliğinin belirlenmesi için Wilcox, ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramları hazırlanmıştır. Ayrıca, % Na, SAR ve EC değerlerine göre suların sulama suyu olarak kullanılabilirliği değerlendirilmiştir. Şekil 7'de verilmiş olan Wilcox diyagramına göre S-2 ve S-7 no.lu örnekler "iyi-kullanılabilir", diğer tüm örnekler ise "Çok iyi-İyi" sulama suyu sınıfındadır.

Tablo 5. Yeraltısuyu Örneklerinin Azot Ve Fosfor Parametreleri Ve Ağır Metal Analiz Sonuçları (Nitrogen And Phosphorus Parameters And Heavy Metal Analysis Results Of Groundwater Samples)

Numune No	Azot ve Fosfor Parametreleri				Ağır Metaller									
	NO ₃ mg/L	NO ₂ mg/L	NH ₄ mg/L	Toplam Fosfor mg/L	Arsenik µg/L	Kadmiyum µg/L	Kurşun µg/L	Alüminyum µg/L	Bakır µg/L	Çinko µg/L	Nikel µg/L	Demir µg/L	Mangan µg/L	
S-1	12.66	0.092	0.04	0.02	<1	<0.2	<1	2.25	3.97	11.3	9.07	60.3	12.2	
S-2	<0.443	<0.007	<0.03	<0.01	<1	<0.2	<1	<2	<1	3.09	5.04	90.1	<1	
S-3	5.84	<0.007	<0.03	0.02	<1	<0.2	<1	<2	<1	<2	2.74	77.6	<1	
S-4	8.01	<0.007	<0.03	<0.01	<1	<0.2	<1	<2	2.73	3.02	2.33	16.3	<1	
S-5	24.08	0.010	<0.03	0.06	<1	<0.2	<1	<2	<1	20.2	7.13	95.3	2.22	
S-6	<0.443	<0.007	<0.03	<0.01	<1	<0.2	<1	<2	<1	<2	<2	31.50	1.37	
S-7	<0.443	<0.007	<0.03	<0.01	<1	<0.2	<1	<2	<1	15.7	2.41	38.8	<1	
S-8	<0.443	0.007	<0.03	0.02	<1	<0.2	<1	4.75	<1	4.20	<2	15.7	<1	
S-9	<0.443	<0.007	<0.03	<0.01	<1	<0.2	<1	4.61	<1	6.44	<2	<10	<1	

**Şekil 7.** Wilcox Diyagramı (Nisan 2021) (Wilcox Diagram (April 2021))

Suların Sodyum Yüzdesi (% Na) değerleri, bir bölgedeki suların sulama suyu olarak kullanılıp kullanılmayacağı hakkında fikir veren önemli parametre olup Wilcox (1955) tarafından önerilen aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmaktadır (1).

$$\%Na = [Na / ((Na+K+Ca+Mg))] \times 100 \quad (1)$$

%Na hesaplama eşitliğinde yer alan iyon konsantrasyonlarının birimi mek/l'dir. Hem sulardan hem de topraktan kaynaklanabilecek %Na genel olarak bitkilerin sodyumu tolere edebilir sınırları dikkate alınarak dört sınıfa

ayrılmıştır (Tablo-6). Çalışma alanındaki yeraltısularının tamamının % Na değerleri < 20 olup “Düşük sodyumlu sular” sınıfında yer almaktadır.

Tablo 6. Suların Na (%) Değerlerine Göre Sınıflandırılması (Classification Of Waters According To Na (%) Values)

Na (%)	Sınıf
<20	Düşük sodyumlu sular
20-40	Orta sodyumlu sular
40-80	Yüksek sodyumlu sular
>80	Çok yüksek sodyumlu sular

Suların, sulama suyu olarak kullanılabilirliğinin belirlenmesi amacı ile Richards (1954) tarafından ABD tuzluluk laboratuvarı diyagramı önerilmiştir. ABD tuzluluk laboratuvarı diyagramı, sulardaki sodyum tehlikesinin ve tuzluluk tehlikesinin birleşik etkisini en iyi şekilde açıklayan diyagramdır. ABD tuzluluk diyagramının yatay ekseninde suların 25 °C’de ki özgül elektriksel iletkenliği (EC) yer alırken dikey ekseninde Sodyum Absorpsiyon Oranı (SAR) bulunur. Düşük Tuzlu Su (C1; < 250 µS/cm); toprak tuzluluğunun gelişme olasılığı çok düşük olan çoğu toprakta çoğu ürünle sulama için kullanılabilir. Bir miktar yıkama gereklidir, ancak bu, son derece düşük geçirgenliğe sahip topraklar haricinde normal sulama uygulamaları altında gerçekleşmektedir. Suların sulama suyu olarak kullanım durumunun değerlendirilmesinde kullanılan EC ve SAR değerlerine göre sınıflandırılması Tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 7. Suların EC Ve SAR Değerlerine Göre Sınıflandırılması (Classification Of Waters According To EC And SAR Values)

EC (µS/cm)	Sınıf	SAR (%)	Sınıf
<250	C1; Düşük Tuzlu Su	<10	S1; Düşük sodyumlu sular
250-750	C2; Orta Tuzlu Su	10-18	S2; Orta sodyumlu sular
750-2250	C3; Yüksek Tuzlu Su	18-26	S3; Yüksek sodyumlu sular
>2250	C4; Yüksek Tuzlu Su	>26	S4; Çok yüksek sodyumlu sular

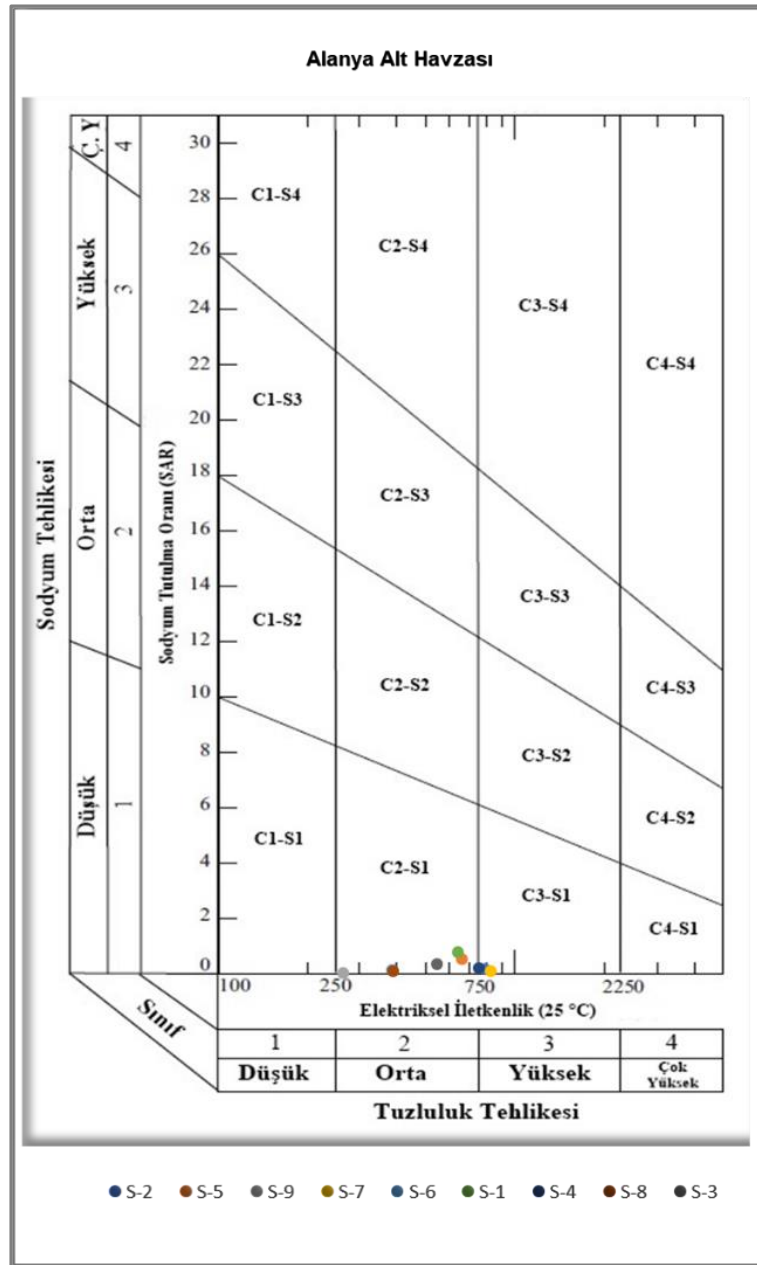
Çalışma alanında bulunan yeraltısularına ait ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramı Şekil 8’de, suların ABD tuzluluk laboratuvarı diyagramına göre sınıflandırılması ise Tablo 8’de sunulmuştur. Buna göre, çalışma alanında alınan örneklerden S-2, S-4 ve S-7 C3S1 (Yüksek tuzlu-düşük sodyumlu) su sınıfında diğer su örnekleri ise C2S1 (orta tuzlu-düşük sodyumlu) su sınıfındadır.

Tablo 8. Suların ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramına Göre Sınıflandırılması (Classification Of Waters According To The US Salinity Laboratory Diagram)

Örnek No	Tuzluluk Tehlikesi	Sodyum Tehlikesi	Sınıfı
S-1	C2	S1	C2-S1
S-2	C3	S1	C3-S1
S-3	C2	S1	C2-S1
S-4	C3	S1	C3-S1
S-5	C2	S1	C2-S1
S-6	C2	S1	C2-S1
S-7	C3	S1	C3-S1
S-8	C2	S1	C2-S1
S-9	C2	S1	C2-S1

5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Alanya alt havzası içerisinde Prekambriyen’den günümüze kadar farklı zaman dilimlerinde oluşmuş birçok kaya birimi yüzeylenmektedir. Çalışma alanının temelini Kambriyen yaşlı birimler oluşturmaktadır. Alt Kambriyen yaşlı Kurtbeleni Formasyonu (Eku), kuvarsit, kuvars ve şist birimlerinden oluşmaktadır. Dolomit ve mermerlerden oluşan Karagedik Formasyonu (Eka) Orta Kambriyen yaşlıdır. Üst Kambriyen-Ordovisyan yaşlı Payallar Formasyonu şist, fillit, kuvars şist ve kuvarsit birimlerinden oluşmaktadır. Üst Devoniyen yaşlı Gümüşali Formasyonu (Dgü), kumtaşı, kireçtaşı, kuvarsit ve dolomit ara seviyeli şeyllerden oluşmaktadır. Alt Devoniyen yaşlı Çukuryurt Formasyonu (Dç), kuvarşist, kuvarsit ve kuvars-klorit şistlerden oluşmaktadır. Cevizli Formasyonu (Pc) Alt Permiyen yaşlı olup, kireçtaşı, kristalize kireçtaşı ve dolomitik kireçtaşları ile temsil edilmektedir. Üst Permiyen yaşlı Cebireis Formasyonu (Pce) genellikle dolomit, dolomitik kireçtaşı, kristalize kireçtaşı ve mermerlerden oluşmaktadır.



Şekil 8. ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramı (Nisan 2021, (US Salinity Laboratory diagram (April 2021))

Cebireis Formasyonu Dolomit Üyesi (Pced), masif, kalın tabakalı dolomitlerle temsil edilmektedir. Asmaca Formasyonu (TRas), klorit-serizit şist, kloritoyid şist ve kalkşistlerden oluşmaktadır. Alakırçay Grubu Orta-Üst Triyas yaşlı olup, bitkili kumtaşı, şeyl, yastık yapılı spilit, spilitleşmiş bazalt, radyolarit, çört ve Halobia'lı kireçtaşlarından oluşmaktadır. Orta Triyas yaşlı Orhanlar Formasyonu, kristalize kireçtaşı ve dolomitlerden oluşmaktadır. Jura-Kretase yaşlı Karasay Kireçtaşı (Jks), çörtlü kireçtaşı ara seviyeli breşik kireçtaşlarından oluşmaktadır. Sığ karbonat şelf ortamında çökelen Çamlık Formasyonu (JKç), altta masif ve kalın tabakalı, gri, koyu gri, açık gri, bej, sarımsı kahve, yer yer siyahımsı gri renkli dolomitlerle başlamaktadır. Birim üstte orta-kalın tabakalı, bej, krem, açık gri, gri, kirli sarı vb. renkli rudistli kireçtaşları ile sonlanmaktadır. Üst Kretase yaşlı Sugözü Formasyonu'nun (Ksg) şist, fillit ve mermerlerden oluşmaktadır. Üst Kretase yaşlı Keçili Formasyonu (Kk), yeşil, yeşilimsi gri, koyu gri, yeşilimsi kahve, gri, sarımsı kahve vb. renklerde, ince-orta-kalın tabakalı, kumtaşı, silttaşı, kiltası ve konglomeralardan oluşmaktadır. Kuvaterner yaşlı birimler ise; taraça (Qt) birimi, yamaç molozu (Qym) ve alüvyon (Qal) birimidir.

Çalışma alanında yer alan jeolojik birimler fiziksel, hidrojeolojik özellikleri ile akifer olabilme potansiyelleri bakımından Taneli Ortam Akiferi, Karstik Akifer, Akitard-1, Akitard-2, Akitard-3 ve Akifüj-1 olmak üzere altı ayrı grupta incelenmiştir. Karagedik, Cevizli, Cebireis, Orhanlar, Çamlık formasyonları ile Cebireis Formasyonu Dolomit Üyesi ve Karasay Kireçtaşı "Karstik Akifer"; Gümüşali ve Keçili formasyonları "Akitard-1", Alakırçay Grubu "Akitard-2", Payallar, Çukuryurt, Asmaca ve Sugözü formasyonları "Akitard-3", Taraça, yamaç molozu ve alüvyon birimleri ise "taneli ortam akiferi" olarak sınıflandırılmıştır. Çalışma alanında yeraltısuyu derinlikleri 0.00-146.71

m arasında seviyesi ise -11.15 ile 1286.55 m arasında değişmektedir.

Çalışma alanı içerisinde bulunan yeraltısularının iyon özelliklerinin belirlenmesi amacıyla; sertlik, pH, EC, %Na ve SAR gibi genel kimyasal özellikler değerlendirilerek ilgili uluslararası kabul görmüş diyagramlar ile yorumlanmıştır. Schoeller (1955)'in yapmış olduğu sınıflamaya göre; alınan su örneklerinin tamamı klorür derişimi bakımından "olağan klorürlü sular" sınıfına, sülfat derişimi bakımından "olağan sülfatlı sular" sınıfına ve karbonat-bikarbonat derişimi bakımından ise "olağan karbonatlı sular" sınıfında yer almaktadır. Piper diyagramına göre, S1, S2 ve S3 nolu örneklerin Ca-HCO₃; S6, S-7, S8 ve S4 nolu örneklerin ise Ca-Mg-HCO₃'lü sular fasiyesinde, S-5 nolu örneğin ise Ca-SO₄+HCO₃ fasiyesinde olduğu görülmektedir. Yeraltısularının içme suyu olarak kullanılabilirliğini belirlemek için suların majör iyon, azot ve fosfor türevleri ve ağır metal analiz sonuçları TSE-266 (2005) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2017) tarafından belirlenen içme suyu limit değerleri ile kıyaslanmıştır. Analiz sonuçlarına göre suların tamamı içme suyu olarak kullanıma uygundur. Sulama suyu olarak kullanım özellikleri bakımından, Wilcox (1955) diyagramına göre; S-2 ve S-7 no.lu örnekler "iyi-kullanılabilir", diğer tüm örnekler ise "Çok iyi-İyi" su sınıfındadır. ABD tuzluluk diyagramına göre; çalışma alanında alınan örneklerden S-2, S-4 ve S-7 C3S1 (Yüksek tuzlu-düşük sodyumlu) su sınıfında diğer su örnekleri ise C2S1 (orta tuzlu-düşük sodyumlu) su sınıfındadır.

Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışma SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalında yapılan doktora tez çalışmasının bir ürünüdür. Yazarlar, veri temini konusunda her türlü desteği sağlayan Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Devlet Su İşleri Antalya Bölge Müdürlüğü'ne ve çalışmayı finansal olarak destekleyen SDÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı'na (Proje No: FDK-2022-8652) teşekkür ederler.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

Kaynaklar (References)

- Arslan, H., Demir, Y., 2011. Bafra Ovasında Deniz Suyu Girişiminin Yeraltısuyu Kalitesi Üzerine Etkisi, *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 26(2), 136-144.
- Blumenthal, M., 1951. Recherches geologiques dans le Taurus Occidental dans l'arriere-pays d'Alanya. *Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü, Seri D, No: 5, Ankara*, 133 p.
- Bozdağ, A. 2017. Çumra (Konya) Ovasındaki Yeraltısularının Hidrojeokimyasal Özellikleri ve Sulama Suyu Kalitesi, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 5(3), 559-571.
- Davraz, A., Ünver, Ö., 2014. İnegöl Havzası (Bursa) hidrojeolojisi ve yeraltısularının kalite değerlendirilmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 18(2), 7-21.
- Dehbandi, R.; Abbasnejad, A.; Karimi, Z.; Herath, I.; Bundschuh, J., 2019. Hydrogeochemical controls on arsenic mobility in an arid inland basin, southeast of Iran: The role of alkaline conditions and salt water intrusion. *Environ. Pollut.*, 249, 910-922.
- Demir, S., Hepdeniz, K., 2018. Isparta İl Merkezi Yeraltısuyu Kalitesinin Jeostatistiksel Yöntemler Kullanılarak Coğrafi Bilgi Sistemleri İle Haritalanması. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(2), 757-771.
- Demirtaşlı, E., 1967. Pınarbaşı-Sanz-Mağara civarının jeoloji raporu. *Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Rapor No: 1935 (yayımlanmamış)*.
- Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, 2022. Antalya Havzası Yeraltısuyu Planlama (Hidrojeolojik Etüt) Raporu Yapılması İş, Ankara.
- Ekmekçi, M, Yazıcıgil, H., 2003. Perspectives on Turkish Groundwater Resources, *Groundwater Readers' Forum Vo:41 No:3-Groundwater*.
- Khan, M.Y.A.; ElKashouty, M.; Bob, M., 2020. Impact of rapid urbanization and tourism on the groundwater quality in Al Madinah city, Saudi Arabia: A monitoring and modeling approach. *Arab. J. Geosci.* 2020, 13, 922.
- Koçbay, A., 1997. Mecitözü-Konaklı (Çorum) çevresinin hidrojeolojisi ve yeraltısuyu kalitesi. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi* S, 51.
- Lapworth, D.J.; Krishan, G.; MacDonald, A.M.; Rao, M.S., 2017. Groundwater quality in the alluvial aquifer system of northwest India: New evidence of the extent of anthropogenic and geogenic contamination. *Sci. Total Environ.* 599-600, 1433-1444.
- Monod, O., 1977. Resherches geologiques dans le Taurus occidentales au sud de Beyşehir (Turquie). *These Univ. Paris-Sud, Orsay*, 442p.
- Morris, B.L.; Lawrence, A.R.L.; Chilton, P.J.C.; Adams, B.; Calow, R.C.; Klinck, B.A., 2003. *Groundwater and Its Susceptibility to Degradation: A Global Assessment of the Problem and Options for Management: Early Warning and Assessment Report Series; United Nations Environment Programme: Nairobi, Kenya.*
- Özgül, N., 1983. Alanya bölgesinin jeolojisi. *Doktora Tezi, İÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.*
- Öztürk, E.M., Akdeniz, N., Bedi, Y., Sönmez, İ., Usta, D., Kuru, K., Erbay, G., 1995. Alanya napının stratigrafisine farklı bir yaklaşım. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni* 10, 2-10.
- Piper, A.M., 1944. A Graphic Procedure in Geochemical Interpretation of Water Analyses, *American Geophysical Union Transactions* 25, 914-923.

- Richards, L., 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. Washington DC.: US Department of Agriculture.
- Schoeller, H., 1955. Gechemie Des Eaux Souterranes. Review Institutue Franc. Petrole, Paris, 10, 3-4
- Şenel, M. 1997b. 1:100.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, Isparta-K12 Paftası, No: 12. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Şenel, M. ve Ekmekçi E., 2016, 1/100 000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, Konya N27 Paftası, No:230, maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Şenel, M., Serdaroğlu, M., Kengil, A., Ünverdi, M., Gözler, M.Z., 1981. Teke Toroslarının güneydoğusunun jeolojisi. Maden Tetkik ve Arama Dergisi 95/96, 13-43.
- Şener, Ş., Şener, E., 2021. Şefaatli (Yozgat) Doğusu Su Kaynaklarının Hidrojeolojik ve Hidrojeokimyasal İncelemesi. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(1), 126-138.
- Şener, Ş., Şener, E., 2023. Oba Çayı Alt Havzasının (Antalya, Türkiye) Hidrojeolojisi ve Su Kaynaklarının Hidro-kimyasal İncelenmesi. In International Conference on Engineering, Natural and Social Sciences (Vol. 1, pp. 382-388).
- Şener, Ş., Şener, E., Er, A., 2021a. Gaziantep İli Yeraltısularının Hidrojeokimyasal Özellikleri ve Su Kalitesi. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(4), 1253-1266.
- Şener, Ş., Varol, S., Şener, E., 2022. Akşehir (Konya) Ovası Yeraltısuyu Kalitesi ve Kullanılabilirliğinin Belirlenmesi. Journal of Limnology and Freshwater Fisheries Research, 8(1), 80-91.
- Shiklomanov, I. A, Rodda, J, C., 2003. World Water Resources at the B Century, Cambridge, UK, Cambridge University Press.
- Tuik, Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi Nüfus Sayımı Sonuçları, (www.tuik.gov.tr). 2022.
- Usta, D., Öztürk, E.M. 2000. Gülendağı-Gündoğmuş dolayının (Alanya-0 27-a3, a4, b4 ve O 28-a4 paftalarının) jeolojisi. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 10487, Ankara (yayımlanmamış).
- Wang, Y.; Jiao, J.J. Origin of groundwater salinity and hydrogeochemical processes in the confined Quaternary aquifer of the Pearl River Delta, China. J. Hydrol. 2012, 438–439, 112–124.
- Wilcox, L. (1955). Classification and Use of Irrigation Water. Washington DC.: US Department of Agriculture
- Yılmaz, F. K., Kaymak, H., 2018. Dim Çayı Havzası'nın Jeomorfolojik Özellikleri. Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 22(1), 1-31.