

YAYINCI
PUBLISHER



MÜHENDİSLİK BİLİMLERİ ve TASARIM DERGİSİ

JOURNAL OF ENGINEERING
SCIENCES AND DESIGN

e-ISSN: 1308-6693

Cilt/Volume: 11 Sayı/Issue: 3 Eylül/September 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

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. FUZZY MULTI-OBJECTIVE NONLINEAR PROGRAMMING PROBLEMS UNDER VARIOUS MEMBERSHIP FUNCTIONS: A COMPARATIVE ANALYSIS Özlem AKARÇAY <u>Nimet YAPICI PEHLİVAN</u>	857-872
2. DESIGN OPTIMIZATION OF LOW NOISE AMPLIFIER FOR 900MHZ GSM BAND APPLICATIONS USING GREY WOLF ALGORITHM Aysu BELEN	873-879
3. DESIGN AND MANUFACTURING OF PNEU-MECHANIC DOBBY MACHINERY Murat KODALOĞLU <u>Fevzi BEDİR Feyza AKARSLAN KODALOĞLU</u>	880-885
4. RİSK TAKİBİNDE WEB TABANLI HARİTALARIN KULLANILMASI: KORONA VİRÜS WEB HARİTASI ÖRNEĞİ Bilal ER <u>Lütfiye KUŞAK</u>	886-903
5. ASİMETRİK EŞ-DÜZLEMSEL ŞERİT BESLEMELİ ANTEN İLE MOTOR YAĞ SEVİYE VE KULLANIM ÖMRÜ TESPİTİ Mustafa YILDIRIM <u>Mahmut Ahmet GÖZEL</u>	904-915
6. GİRESUN KALİTE ORGANİK VE KONVANSİYONEL TOMBUL FINDIKLARIN MEYVE KALİTESİ İLE GEOMETRİK VE RENK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ Hasan KARAOSMANOĞLU	916-924
7. ÇAY HASADI ÇİZELGELEME İÇİN MATEMATİKSEL MODEL ÖNERİSİ Bedirhan SARİMEHMET <u>Hacı Mehmet ALAKAŞ Mehmet PINARBAŞI Tamer EREN</u>	925-938

- [8. KİLİS'TE KONUTSAL SU TÜKETİMİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER](#) 939-956
Yunus ÖZTÜRK Hüseyin Çağan KILINÇ Halil İbrahim ABAMA
- [9. KAOTİK PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYONU KULLANARAK EKONOMİK YÜK DAĞITIMI PROBLEMİNİN ÇÖZÜMÜ](#) 957-965
İbrahim EKE Mustafa SAKA Suleyman Sungur TEZCAN
- [10. A COMPARATIVE STUDY OF CONVENTIONAL AND GREEN EXTRACTION METHODS ON OIL YIELD AND PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF APRICOT KERNEL](#) 966-975
Muhammed Mustafa ÖZÇELİK Erdogan KÜÇÜKÖNER
- [11. GÜÇ TUTUŞUR ÖZELLİKTE TEKSTİL MATERYALLERİ GELİŞTİRMEK İÇİN NANOKİL KATKILI ISI DEPOLAMA ÖZELLİKLİ MİKROKAPSÜL ÜRETİMİ](#) 976-984
Sena DEMİRBAĞ GENÇ Sennur ALAY AKSOY
- [12. GEOTEKNİK PARAMETRELERİN VE YÜKLEME ŞARTLARININ GÜNEŞ PANEL SİSTEMLERİNİN DEPLASMANLARI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ](#) 985-1000
Elif Büşra ÇIKILI Mustafa Kubilay KELEŞOĞLU
- [13. AKIMSIZ KAPLAMA YÖNTEMİYLE NİKEL ESASLI METALİK KAPLAMALARIN ÜRETİMİ](#) 1001-1008
Gülşen TOPAL Banu ESENCAN TÜRKASLAN
- [14. BİTKİSEL BOYALAR İLE DOĞAL KUMAŞLARA BASKI UYGULAMASI](#) 1009-1017
Güler ÖNCÜ Fusun ERGÜL
- [15. TBDY 2018 İLE UYUMLU GERÇEK İVME KAYITLARI KULLANILARAK TSD SİSTEMLERE GİREN ENERJİNİN İNCELENMESİ](#) 1018-1029
Ahmet DEMİR
- [16. FARKLI PERFORMANS KRİTERLERİ ALTINDA PARALEL MAKİNE ÇİZELGELEME PROBLEMİ](#) 1030-1053
Hilmiye Betül DİKMEN Fatih BALCI Ecem ÇETİN Yasemin İLGİN Hakan KAYA Yusuf Baran KARTAL Feyzagül OSMANLI Ayça Mine ÖZEN Ece SÜRÜCÜ Damla KIZILAY
- [17. TOZ KAKAOLU İÇECEKLERİN PREBİYOTİK KOMBİNASYONUN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ YÖNÜNDEN OPTİMİZASYONU](#) 1054-1065
Sirin OBA İLTER Osman YILMAZ

- [18. BORNOVA \(İZMİR\)'DE BİR İNŞAAT ALANINDA DİNAMİK ZEMİN DAVRANIŞI VE SIVILAŞMA ANALİZLERİ](#) 1066-1085
Yusuf BATUGE Mehmet KURUOĞLU Tuğba ESKİŞAR
- [19. A NEW MATHEMATICAL MODEL FOR PARALLEL ASSEMBLY LINE BALANCING PROBLEM WITH ERGONOMIC CONSTRAINTS: ERGOPALBP](#) 1086-1096
Yılmaz DELİCE Emel KIZILKAYA AYDOĞAN Salih HİMMETOĞLU
- [20. KONVANSİYONEL RİNG İPLİKÇİLİKTE İPLİK TÜYLÜLÜĞÜNÜ İYİLEŞTİRMEK İÇİN ÇAPRAZ İPLİK YOLU PRENSİBİNE DAYANAN YENİ BİR EĞİRME KONSEPTİ](#) 1097-1108
İrem ÇELİK Demet YILMAZ
- [21. ELASTİK ZEMİN ve MANYETİK ALAN ETKİSİ ALTINDAKİ KADEMELİ KİRİŞİN DOĞRUSAL TİTREŞİM ANALİZİ](#) 1109-1119
Burak Emre YAPANMIŞ
- [22. EFFECT OF GRAPHITE POWDER ADDITIVES ON MECHANICAL PROPERTIES AND ELECTRICAL CONDUCTIVITY IN BLAST FURNACE SLAG-BASED ALKALI-ACTIVATED MORTARS](#) 1120-1130
Ahmet FİLAZİ Rustem YILMAZEL Muharrem PUL
- [23. SOME CARBONYL COMPOUNDS, FREE FATTY ACID COMPOSITIONS AND TOCOPHEROL CONTENTS OF KAYMAK \(CLOTTED CREAM\) PRODUCED FROM COW, SHEEP AND GOAT MILK](#) 1131-1141
Mustafa YILMAZER Ayşe Gül ÖZAYDIN Zehra ALBAY Bedia ŞİMŞEK
- [24. KARACAÖREN BARAJ GÖLLERİ VE ÇEVRESİ İÇİN STANDARTLAŞTIRILMIŞ YAĞIŞ İNDEKSİ \(SYİ\) YÖNTEMİ İLE KURAKLIK SINIFLAMASI VE ETKİSİNİN BELİRLENMESİ](#) 1142-1153
Simge VAROL Mehmet ULUSOY
- [25. ELEMENTS, PESTICIDES AND IONS POLLUTANTS IN EGİRDİR LAKE IN TURKEY: DETERMINATION AND METHOD VALIDATION](#) 1154-1166
Murat KILIÇ Serpil KILIÇ Yunus PAMUKOĞLU Bülent KIRKAN Taner ERKAYMAZ
- [26. PAMUKLU TEKSTİL ÜRETİMİNDE SU AYAK İZİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ](#) 1167-1173
Elif ŞİMŞEK YEŞİL Ayşe DAL Emrah ÖZTÜRK Mehmet KİTİŞ

[27. ÇELİK MALZEME SATIN ALMA SÜREÇLERİNDE VERİ MADENCİLİĞİ VE MAKİNE
ÖĞRENMESİ UYGULAMALARI](#)

1174-1189

[Seray MİRASÇI](#) [Aslı AKSOY](#)

[28. DESIGN AND APPLICATION OF IoT BASED WEATHER STATION FOR HIGH VOLTAGE
LABORATORIES](#)

1190-1201

[Celal Fadıl KUMRU](#) [Muzaffer Samed VURAL](#)

[29. FOTOKİMYASAL İLERİ OKSİDASYON PROSESLERİ İLE FLOROKİNOLON GRUBU
ANTİBİYOTİKLERİN GİDERİM VERİMLERİNİN ARAŞTIRILMASI VE TOKSİSİTELERİNİN
DEĞERLENDİRMESİ](#)

1202-1212

[Hande GÜLCAN](#) [Nergis DİLSİZOĞLU- AKYOL](#) [Ceyhun AKARSU](#) [Tugba OLMEZ-HANCI](#)

[30. DEPOLAR İÇİN KUTU RENK SEÇİM ROBOTU](#)

1213-1227

[Ceyhun KARATAS](#) [Önder ŞAHİNASLAN](#)



FUZZY MULTI-OBJECTIVE NONLINEAR PROGRAMMING PROBLEMS UNDER VARIOUS MEMBERSHIP FUNCTIONS: A COMPARATIVE ANALYSIS

Özlem AKARÇAY PERVİN¹, Nimet YAPICI PEHLİVAN^{2*}

¹Department of Computer Programing, Vocational School of Commerce and Industry, KTO Karatay University, Konya, Turkey.

²Statistics Department, Science Faculty, Selçuk University, Konya, Turkey

Keywords

Green Supply Chain, Fuzzy Multi-objective Nonlinear Programming, Fuzzy Multi-objective Programming, Fuzzy Sets, Membership Functions, Zimmermann's Min-Max Approach.

Abstract

Fuzzy sets have been applied to various decision-making problems when there is uncertainty in real-life problems. In decision-making problems, objective functions and constraints sometimes cannot be expressed linearly. In such cases, the problems discussed are expressed by nonlinear programming models. Fuzzy multi-objective programming models are problems containing multiple objective functions, where objective functions and/or constraints include fuzzy parameters. Membership functions are crucial to obtain optimal solution of fuzzy multi-objective programming model. In this study, a green supply chain network model with fuzzy parameters is proposed. Proposed model with nonlinear constraints is a fuzzy multi-objective nonlinear programming model that minimizes both transportation costs and emissions generated by two vehicle types during transportation. The model is used in Zimmermann's Min-Max approach by considering triangular, hyperbolic and exponential membership functions and optimal solutions are obtained. When optimal solutions are compared, it is seen that optimal solution obtained using the hyperbolic membership function is better than the optimal solutions obtained from triangular and exponential ones. Maximum common satisfaction level calculated using hyperbolic membership function for proposed model is $\lambda=0.97$. Sensitivity analysis is also carried out by taking into account distances between suppliers, manufacturers, distribution centers and customers, as well as customer demands.

ÇEŞİTLİ ÜYELİK FONKSİYONLARI ALTINDA BULANIK ÇOK AMAÇLI DOĞRUSAL OLMAYAN PROGRAMLAMA PROBLEMLERİ: KARŞILAŞTIRMALI BİR ANALİZ

Anahtar Kelimeler

Yeşil Tedarik Zinciri, Bulanık Çok Amaçlı Doğrusal Olmayan Programlama, Bulanık Çok Amaçlı Programlama, Bulanık Kümeler, Üyelik Fonksiyonları, Zimmermann'ın Min-Max Yaklaşımı.

Öz

Bulanık kümeler, gerçek hayat problemlerinde belirsizlik olması durumunda çeşitli karar verme problemlerine uygulanmaktadır. Karar verme problemlerinde amaç fonksiyonları ve kısıtlar bazen doğrusal olarak ifade edilemez. Bu gibi durumlarda, ele alınan problemler doğrusal olmayan programlama modelleri ile ifade edilir. Bulanık çok amaçlı programlama modelleri, amaç fonksiyonları ve/veya kısıtların bulanık terimler içerdiği birden fazla amaç fonksiyonu olan problemlerdir. Bulanık çok amaçlı programlama modellerinin çözümünde kullanılan üyelik fonksiyonları, karar verme aşamasında çok önemlidir. Bu çalışmada, bulanık parametrelere sahip bir yeşil tedarik zinciri ağı modeli önerilmiştir. Doğrusal olmayan kısıtları olan model, hem taşıma maliyetlerini hem de taşıma esnasında iki araç tipi tarafından üretilen emisyonları en aza indiren bulanık çok amaçlı doğrusal olmayan programlama modelidir. Model, üçgensel, hiperbolik ve üstel üyelik fonksiyonları gözönüne alınarak Zimmermann'ın Min-Max yaklaşımında kullanılmış ve optimal çözümler elde edilmiştir. Optimal çözümler karşılaştırıldığında, hiperbolik üyelik fonksiyonu kullanılarak elde edilen optimal çözümün üçgensel ve üstel üyelik fonksiyonlarından elde edilen optimal çözümlerden daha iyi olduğu görülmüştür.

* İlgili yazar / Corresponding author: nimet@selcuk.edu.tr, +90-332-223-3991

Önerilen model için hiperbolik üyelik fonksiyonu kullanılarak hesaplanan maksimum ortak memnuniyet düzeyi $\lambda=0.97$ 'dir. Çalışmada, müşteri taleplerinin yanı sıra tedarikçiler, üreticiler, dağıtım merkezleri ve müşteriler arasındaki mesafeler dikkate alınarak duyarlılık analizi de yapılmıştır.

Alıntı / Cite

Akarçay Pervin, Ö., Yapıcı Pehlivan, N., (2023). Fuzzy Multi-Objective Nonlinear Programming Problems Under Various Membership Functions: A Comparative Analysis, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(3), 857-872.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process	
Ö. AKARÇAY PERVİN, 0000-0003-0068-3211	Başvuru Tarihi / Submission Date	24.01.2022
N. YAPICI PEHLIVAN, 0000-0002-7094-8097	Revizyon Tarihi / Revision Date	26.01.2023
	Kabul Tarihi / Accepted Date	08.06.2023
	Yayın Tarihi / Published Date	28.09.2023

FUZZY MULTI-OBJECTIVE NONLINEAR PROGRAMMING PROBLEMS UNDER VARIOUS MEMBERSHIP FUNCTIONS: A COMPARATIVE ANALYSIS

Özlem AKARÇAY PERVİN¹, Nimet YAPICI PEHLIVAN^{2†}

¹Department of Computer Programing, Vocational School of Commerce and Industry, KTO Karatay University, Konya, Turkey.

²Statistics Department, Science Faculty, Selçuk University, Konya, Turkey

Highlights

- A fuzzy multi-objective nonlinear programming (FMNOLP) model for a green supply chain network (GSCN) is proposed.
- The model includes linear constraints with fuzzy parameters, nonlinear constraints, and two objective functions.
- Both transportation costs and emissions generated by two vehicle types during transportation are minimized.
- The FMNOLP model is solved by Zimmermann's Min-Max approach under various membership functions.

Purpose and Scope

The aim of the study is to propose a fuzzy multi-objective nonlinear programming (FMNOLP) model for a green supply chain network (GSCN) model. The proposed model includes linear constraints with fuzzy parameters, nonlinear constraints, and two objective functions that minimize both transportation costs and emissions generated by two vehicle types during transportation.

Design/methodology/approach

The proposed FMNOLP model is solved by using Zimmermann's Min-Max approach under triangular, hyperbolic and exponential membership functions.

Findings

The optimal solution obtained for the FMNOLP model using the hyperbolic membership function is better than the optimal solutions obtained from the triangular and exponential membership functions.

Research limitations/implications

The limitation of the study is to consider a FMONLP model with two objective functions with linear and nonlinear constraints for a simple green supply chain network structure. In future studies, the proposed FMONLP model can be applied to more complicated GSCN models. Different nonlinear membership functions, different defuzzification techniques for fuzzy parameters or different linearization techniques can be handled. In addition, other solution methods in the literature proposed for FMOP problems can be applied under various linear and/or nonlinear membership functions.

[†] Corresponding author: nimet@selcuk.edu.tr, +90-332-223-3991

Originality

In the study, FMNOLP model which includes two objective functions as well as linear and nonlinear constraints is proposed. Linear constraints are dealt with demands of customers, fuzzy capacities of manufacturers, distribution centers and suppliers, and vehicle capacities. Nonlinear constraints are related to constraints on maximum capacity utilization for the manufacturers and distribution centers. In order to provide this, variability, i.e. standard deviation, must be minimum. The variability is the constant obtained by taking these two constraints as individual objective functions and solving them under the other constraints, and is added to these constraints as a right-hand side. Proposed FMNOLP model for green supply chain network is solved under various membership functions. A sensitivity analysis is also performed through capacities and distances.

1. Introduction

Rapidly increased environmental problems adversely affect the world in various aspects such as health problems, costs, air pollution, environmental pollution, and the deterioration of the natural life cycle and pose a threat to future generations. In recent years, the effects of global warming and related climate change have reached serious levels, causing plenty of living creatures and even natural resources to face many dangers, especially destruction. Among the causes of climate change, the uses of greenhouse gases and insoluble raw materials in nature have a large share. These problems caused by people can still be prevented and compensated. For this purpose, many companies have created green supply chains by making some changes in supply chain management through environmentally friendly strategies and legal regulations.

Some real-life problems may include both fuzzy parameters and multiple objectives. For companies, cost is an important factor in the construct of green supply chain besides the amount of environmental damage. In some cases, high costs may be required due to the high technology used to prevent environmental pollution. In such cases, while trying to minimize the damage to the environment, the cost for the sustainability of the companies should be kept in mind and the problem should be considered as a fuzzy multi-objective programming model. The Min-Max approach proposed by Zimmermann (1978) is a method that combines fuzzy set theory and multi-objective programming. In addition, Sakawa and Yano (1985), Bit et al. (1993), Kuwano (1996), Liang and Cheng (2009) and etc. contributed to the literature by developing some approaches and integrated algorithms to solve fuzzy multi-objective programming problems.

The multi-objective nonlinear programming problem involving fuzzy parameters was first introduced by Orlovski et al. (1984). Afterwards, Sakawa and Yano (1985) introduced a multi-objective nonlinear programming (MONLP) model with fuzzy objective functions. This model was discussed on a numerical example using triangular, exponential, hyperbolic, piecewise linear, and inverse hyperbolic membership functions. Zhao and Bose (2002) assessed different types of membership functions like triangular, trapezoidal, Gaussian, sigmoidal, and polynomial, in fuzzy control of an induction motor driver. At first, fuzzy controller sensitivity was analyzed and then comparisons between triangular membership functions and different membership functions were made. Bit (1993) aimed to obtain efficient and best compromise solutions for a fuzzy multi-objective transportation problem with capacity constraints by using hyperbolic membership function. In order to show the effectiveness of the methodology, solutions were obtained by fuzzy programming with linear and hyperbolic membership functions on a numerical example and a comparison was made.

In a fuzzy context, Wang and Liang (2004) proposed a fuzzy multi-objective linear programming (FMOLP) model to solve the multi-product aggregate production planning choice problem. For all objective functions, the problem was transformed into a linear programming problem using a piecewise linear membership function. In order to find solutions for integrated production/transport planning issues with fuzzy multiple objective functions, Liang (2007) proposed a fuzzy goal programming (FGP) approach. In the proposed approach, piecewise linear membership functions was considered for each of the fuzzy goals. Zangiabadi and Maleki (2007) proposed a fuzzy goal programming approach for the multi-objective transportation problem. They focused on minimization of the negative deviation variables from 1 to specify an optimal compromise solution assuming the objective functions have fuzzy goals. One of the nonlinear membership functions, hyperbolic, was used for each objective function in order to define all fuzzy goals.

Bodkhe et al. (2010) presented a fuzzy multi-objective programming method considering hyperbolic membership function for solving bi-objective transportation problem to compare with those obtained from the triangular membership function. Pedro and Vasant (2011) addressed the multi-objective problem of transportation planning decision (TPD) problem which has fuzzy goals, supplies and forecast demands. In order to solve considered problem in which fuzzy data is specified by modified S-curve membership functions, an interactive method was presented. In the proposed method, it was aimed to simultaneously minimize total production costs, transportation costs, and total delivery time by considering several constraints such as budget, available supply,

machine capacities, forecasted demand, and warehouse space. Using the interactive fuzzy approach, the performance of the membership function types of S-curve and linear, are compared for solving the multi-objective TPD problem and a agreement solution is obtained.

Zangiabadi and Maleki (2013) carried out FGP to a linear multiobjective transportation problem. Nonlinear membership functions like hyperbolic and exponential were used to obtain an optimal compromise solution for multi-objective transportation problem and compare it with the solution obtained using the linear membership function. Singh and Yadav (2018) presented intuitionistic fuzzy multi-objective linear programming (ITFMOLP) problems which have mixed constraints. Triangular intuitionistic fuzzy numbers were considered for constraint functions, objective function coefficients, and right hand sides of constraints. The ITFMOLP problem was transformed into a multi- objective linear programming problem using the accuracy function, and then it was transformed into a fuzzy goal programming (FGP) model considering scalarization technique. Linear, parabolic and hyperbolic membership functions were used for solving the FGP problem to obtain optimal results. Medina-González et al. (2018) introduced a fuzzy multi-objective optimization model for sustainable design and planning related to water supply chains considering nonlinear membership functions. Linear membership functions are taken into account for economic profit and water consumption objectives, while a nonlinear membership function was handled for land usage objective.

Li et al.(2020), provides an optimal model for allocating agricultural water and soil resources under consideration. Heuristic fuzzy numbers, fuzzy reliability restricted programming, mixed integer nonlinear programming, and multi-objective programming are all part of the approach. For model solution, a nonlinear membership function and fuzzy programming approach are applied. Kara and Kocken (2021) presented a multi-objective solid transport problem model that takes into account to evaluate the performance of linear and nonlinear membership functions. The model was solved using both the hyperbolic and linear membership functions by a numerical example. From the results, it was seen that the hyperbolic membership function gives the best optimal solutions. Miah et al. (2022) addressed the multi-objective goal programming approach for the transportation problem. At the solution phase, the optimal solutions were compared through exponential and hyperbolic membership functions. Das (2022) handled a multi-objective inventory problem using several techniques such as geometric programming, fuzzy programming technique with hyperbolic membership function, and fuzzy nonlinear programming.

In this study, it is aimed to examine whether the selected membership functions make any difference for the solution of fuzzy multi-objective nonlinear supply chain problems involving uncertainty.

Remainder of this study is arranged as follows: Fuzzy multi-objective programming models, Zimmerman's Min-Max approach and various membership functions related to the approach are explained in Section 2. In Section 3, a fuzzy multi-objective nonlinear supply chain problem is considered as a numerical example. Comparative results according to sensitivity analysis considering various membership functions are given in Section 4. Future studies are given in Section 5.

2. Fuzzy Multi-Objective Programming Model

In real world decision-making problems, uncertainties have been existed due to decision makers may have not information regarding exact values of the coefficients or parameters related to the problem. Applying the fuzzy set theory proposed by Zadeh (1965), more efficient and more flexible solutions are provided for such problems. Bellman and Zadeh (1970), who carried out the first study in which fuzzy sets were applied to decision making problems, proposed a fuzzy decision model characterized by membership functions using minimum operators. Zimmermann (1978) extended the fuzzy linear programming approach to multi-objective linear programming (MOLP) problems and this method was called the Min-Max approach. In the study, the extended problem was transformed into a classical LP problem by defining each objective function with its corresponding membership function and using the minimum operator proposed by Bellman and Zadeh (1970).

Fares and Kaminska (1995) modelled a problem with fuzzy nonlinear objective function and fuzzy constraints using nonlinear membership functions. Verma et al. (1997) presented an optimal solution by using two nonlinear membership functions, hyperbolic and exponential, to solve the multi-objective transportation problem. Wang (2004) introduced a fuzzy multi-objective linear programming (FMOLP) model to obtain a solution for the multi-product aggregate production planning decision problem which contains fuzzy parameters. The model was solved by considering piecewise membership function for all objective functions. Liang (2006) presented an interactive-FMOLP method with piecewise linear membership function for solving transportation problems. Zeng et al. (2010) presented a FMOLP model with triangular fuzzy numbers. The model and its corresponding fuzzy goal programming problem were converted into to crisp ones. Hu (2017) introduced a multi-objective programming model for the printed circuit board (PCB) line assignment problem on the basis of the transportation problem and

assignment problem. To obtain a solution for the presented model, the fuzzy goal programming method with nonlinear hyperbolic membership function was applied.

The fuzzy multi-objective programming (FMOP) model is given as follows:

$$\begin{aligned} \text{Min } Z_i(x) &\cong (Z_1(x), Z_2(x), \dots, Z_k(x))^T \\ g_j(x) &\leq 0, \quad j = 1, \dots, t \end{aligned} \tag{1}$$

In Equation (1), $Z_i(x)$ denotes the objective function i ($i = 1, \dots, k$), x indicates decision variables and $g_j(x)$ defines inequality constraint j ($j = 1, \dots, t$).

The FMOP given in Equation (1) is called FMOLP in case of objective functions and constraints are all linear. On the other hand, it is called fuzzy multi-objective nonlinear programming (FMONLP) when at least one of the objective functions and/or constraints are nonlinear. Various methods have been introduced for solving the FMOP models.

In this study, a FMONLP model is introduced for green supply chain network. In the solution phase of this model, Zimmermann (1978)'s Min-Max approach is applied which is explained step by step below.

Step 1. The FMONLP model is constructed.

Step 2. $Z_i(x)$'s, $i = 1, \dots, k$ are solved individually under the same constraints.

Step 3. Using optimal solutions obtained from Step 2, corresponding values for each objective function is calculated at each optimal solution derived. Pay-off matrix is created using each optimal solution corresponding to each objective function.

Step 4. The lower value (Z_i^L) and the upper value (Z_i^U) of all objective functions are determined from the pay-off matrix given in Table 1.

Table 1. Pay-off matrix

Min	$Z_1(x)$	$Z_2(x)$...	$Z_k(x)$
$Z_1(x)$	Z_{11}	Z_{12}	...	Z_{1k}
$Z_2(x)$	Z_{21}	Z_{22}	...	Z_{2k}
\vdots	\vdots	\vdots	\ddots	\vdots
$Z_k(x)$	Z_{k1}	Z_{k2}	...	Z_{kk}
Z_i^L	Z_1^L	Z_2^L	...	Z_k^L
Z_i^U	Z_1^U	Z_2^U	...	Z_k^U

Step 5. Membership function $\mu_i(Z_i(x))$ for each objective function is obtained by using the values of Z_i^L and Z_i^U given in Table 1.

Triangular, hyperbolic and exponential type membership functions for the objective function $Z_i(x)$ are defined in Equations (2), (3), and (4), respectively.

$$\mu_i^T(Z_i(x)) = \begin{cases} 1, & Z_i(x) \leq Z_i^L \\ \frac{Z_i^U - Z_i(x)}{Z_i^U - Z_i^L}, & Z_i^L \leq Z_i(x) \leq Z_i^U \\ 0, & Z_i(x) \geq Z_i^U \end{cases} \tag{2}$$

$$\mu_i^H(Z_i(x)) = \begin{cases} 1, & Z_i(x) \leq Z_i^L \\ \frac{1}{2} \tanh\left(\frac{Z_i^U + Z_i^L}{2} - Z_i\right) \alpha_i + \frac{1}{2}, & Z_i^L \leq Z_i(x) \leq Z_i^U \\ 0, & Z_i(x) \geq Z_i^U \end{cases} \tag{3}$$

$$\mu_i^E(Z_i(x)) = \begin{cases} 1, & Z_i(x) \leq Z_i^L \\ \frac{e^{-s\psi_i(x)} - e^{-s}}{1 - e^{-s}}, & Z_i^L \leq Z_i(x) \leq Z_i^U \\ 0, & Z_i(x) \geq Z_i^U \end{cases} \tag{4}$$

In Equations (3) and (4), $\alpha_i = \frac{6}{Z_i^U - Z_i^L}$, $\psi_i(x) = \frac{Z_i(x) - Z_i^L}{Z_i^U - Z_i^L}$, s is a non-zero parameter defined by decision maker.

Step 6. The membership functions corresponding to each objective function are added to model given in Equation (1) as constraints. Thus, problem is converted into a single objective programming model by using variable λ which defines the common satisfaction level for all objective functions, as follows:

$$\begin{aligned} \text{Max } & \lambda \\ & \lambda \leq \mu_i(Z_i(x)), i = 1, 2, \dots, k \\ & g_j(x) \leq 0, j = 1, \dots, t \\ & x \geq 0 \\ & \lambda \in [0, 1] \end{aligned} \quad (5)$$

The solution to the single-objective programming model given in Equation (5) provides an optimal solution for the FMONLP model.

3. Numerical Example

People and institutions have started to interest in environmental problems arising from logistics services since 1980s. The concept of green supply chain network (GSCN) has emerged with the development of modern logistics management and supply chain management Chunguang et al. (2008). The GSCN was introduced by the University of Michigan Research Society in 1996 to assess environmental impacts and resource use in the supply chain Zhang(2005). The GSCN aims to minimize or eliminate hazardous chemicals, emissions, energy, and solid wastes arising from supply chain processes Chin et al.(2015). Shaw et al. (2012) introduced a combined approach to the carbon emission problem by using FMOLP and fuzzy analytic hierarchy process to select most preferred supplier. Kannan et al. (2013) presented a FMOLP model for GSCN problem using fuzzy AHP, TOPSIS and Zimmermann's Min-Max approaches. Mohammed and Wang (2017) introduced a fuzzy multi-objective optimization model for a meat supply chain network under multiple uncertainties. In the model, the goal is to reduce total transportation costs, implementation costs, CO₂ emissions from transportation, product distribution time, and average delivery rate while satisfying product quantities. In the solution phase, methods of LP-metrics, goal programming, and ϵ -constraint were used to optimize the objective functions simultaneously.

3.1. Problem Description

This section deals with a green supply chain network (GSCN) model that minimizes both total transport costs and total CO₂ emissions between suppliers, manufacturers, distribution centres, and customers. This model includes two suppliers, three manufacturers, two distribution centers, three customer groups, and two different vehicle types, as illustrated in Figure 1. It is aimed to develop a FMONLP model for proposed GSCN that takes into account fuzzy capacities of suppliers, manufacturers, distribution centres, and demand of customers. Two objective functions are simultaneously minimized. The first one minimizes transport costs between suppliers, factories, distribution centers and customers. The second one minimizes the amount of CO₂ emissions for two different types of vehicles used during transportation. In order to determine the amount of product to be transported on which route with which vehicle type, the proposed FMONLP is solved under triangular membership function which is a linear membership function, as well as hyperbolic and exponential membership functions which are non-linear membership functions (Akarçay, 2019).

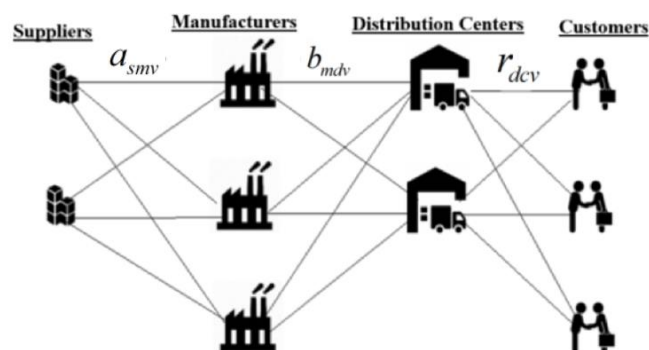


Figure 1. Proposed Green Supply Chain Network Model

The indices, decision variables, parameters, objective functions, and constraints related to the construction of the mathematical model of the proposed FMONLP problem are defined as follows:

Indices:

s: suppliers (s=1,2)
 m: manufacturers (m=1,2,3)
 d: distribution centers (d=1,2)
 c: customers (c=1,2,3)
 v: vehicle types (v=1,2)

Decision variables:

a_{smv} : quantity of the product transported from supplier s to manufacturer m with vehicle v
 b_{mdv} : quantity of the product transported from manufacturer m to distribution center d with vehicle v
 r_{dcv} : quantity of the product transported from distribution center d to customer c with vehicle v
 $y_{dcv} = \begin{cases} 1, & \text{if distribution center d serves customer c with vehicle v} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$

Parameters:

h_v : transportation capacity of vehicle type v
 d_{smv} : unit cost of product transportation from supplier s to manufacturer m with vehicle v
 e_{mdv} : unit cost of product transportation from manufacturer m to distribution center d with vehicle v
 f_{dcv} : unit cost of product transportation from distribution center d to customer c with vehicle v
 CO_2 : quantity of CO_2 produced by vehicles per km
 p: demand of customers
 $\tilde{G}(d)$: fuzzy capacity of distribution center d
 $\tilde{H}(m)$: fuzzy capacity of manufacturer m
 $\tilde{S}(s)$: fuzzy capacity of supplier s
 dis_{sm} : distance between supplier s and manufacturer m
 dis_{md} : distance between manufacturer m and distribution center d
 dis_{dc} : distance between distribution center d and customer c

Objective Functions:

$$\text{Min}Z_1 = \sum_{s=1}^2 \sum_{m=1}^3 \sum_{v=1}^2 d_{smv} a_{smv} + \sum_{m=1}^3 \sum_{d=1}^2 \sum_{v=1}^2 e_{mdv} b_{mdv} + \sum_{d=1}^2 \sum_{c=1}^3 \sum_{v=1}^2 f_{dcv} r_{dcv} \quad (6)$$

$$\text{Min}Z_2 = \sum_{s=1}^2 \sum_{m=1}^3 \sum_{v=1}^2 \frac{a_{smv}}{h_v} CO_{2(sm)} dis_{sm} + \sum_{m=1}^3 \sum_{d=1}^2 \sum_{v=1}^2 \frac{b_{mdv}}{h_v} CO_{2(md)} dis_{md} + \sum_{d=1}^2 \sum_{c=1}^3 \sum_{v=1}^2 \frac{r_{dcv}}{h_v} CO_{2(dc)} dis_{dc} \quad (7)$$

In Equation (6), Z_1 minimizes total transportation costs between suppliers and manufacturers, between manufacturers and distribution centers, and between distribution centers and customers. In Equation (7), Z_2 minimizes total amount of CO_2 emissions for two types of vehicles used in transportation.

Constraints:

$$\sum_{v=1}^2 \sum_{c=1}^3 y_{dcv} = 1, \forall d \quad (8)$$

$$\sum_{v=1}^2 \sum_{m=1}^3 b_{mdv} = \sum_{v=1}^2 \sum_{c=1}^3 r_{dcv}, \forall d \quad (9)$$

$$r_{dcv} = p \times y_{dcv}, \forall d, c, v \quad (10)$$

$$\sum_{d=1}^2 b_{mdv} \leq \tilde{H}(m), \forall m, v \quad (11)$$

$$\sum_{v=1}^2 \sum_{d=1}^2 y_{dcv} \times p \leq \tilde{G}(d), \forall c \quad (12)$$

$$\sum_{m=1}^3 a_{smv} \leq \tilde{S}(s), \forall s, v \quad (13)$$

$$\sqrt{\sum_{m=1}^3 \left(\sum_{d=1}^2 \frac{b_{mdv}}{\tilde{H}(m)} - \frac{\sum_{d=1}^2 b_{mdv}}{\sum_{j=1}^3 \tilde{H}(m)} \right)^2} \leq 0.7, \forall v \quad (14)$$

$$\sqrt{\sum_{d=1}^2 \left(\sum_{c=1}^3 \frac{r_{dcv}}{\tilde{G}(d)} - \frac{\sum_{c=1}^3 r_{dcv}}{\sum_{d=1}^2 \tilde{G}(d)} \right)^2} \leq 0.7, \forall v \quad (15)$$

$$a_{smv} \leq h_v, \forall s, m, v \quad (16)$$

$$b_{mdv} \leq h_v, \forall m, d, v \quad (17)$$

$$r_{dcv} \leq h_v, \forall d, c, v \quad (18)$$

$$a_{smv} \geq 0, \forall s, m, v \quad (19)$$

$$b_{mdv} \geq 0, \forall m, d, v \quad (20)$$

$$r_{dcv} \geq 0, \forall d, c, v \quad (21)$$

Equations (8)-(10) represent that the demands of each customer group are completely fulfilled. Equation (11) defines fuzzy capacity constraint for manufacturer production, Equation (12) describes fuzzy distribution center capacity constraint and Equation (13) represents fuzzy supplier capacity constraint. Constraints on maximum capacity utilization for the manufacturers and distribution centers are given in Equation (14) and Equation (15),

respectively. In order to provide these constraints, variability, i.e. standard deviation, must be minimum. When these two constraints are taken as individual objective function and solved under other constraints, the minimum deviation is calculated as 0.7. Thus, the maximum utilization capacity ratio is determined as 0.7 and taken as the right-hand side constant. Constraints on the vehicle capacity for transported products are given in Equations (16)-(18). Non-negativity constraints on transported products are shown in Equations (19)-(21).

The fuzzy capacities of suppliers, manufacturers, distribution centers, and also the demand of customers are given in Table 2. Capacities and CO_2 emissions for two vehicle types are shown in Table 3. The product transportation costs per unit by two vehicle types from suppliers to manufacturers, from manufacturers to distribution centers and from distribution centers to customers are shown in Tables 4, 5 and 6.

Table 2. Fuzzy Capacities Of Suppliers, Manufacturers, Distribution Centers And Demand Of Customers

	Suppliers $\tilde{S}(i)$	Manufacturers $\tilde{H}(j)$	Distribution Centers $\tilde{G}(n)$	Customers (P)
1	(5500,6000)	(5500,6500)	(6200,7000)	2750
2	(5400,6000)	(920,1080)	(6100,7900)	2750
3	-	(2000,3000)	-	2750

Table 3. Capacities and emissions for two vehicle types

		Capacities (kg) (h_k)	Amounts of CO_2 (kg/km)
Vehicle Type	Van	3000	0.000263
	Truck	5000	0.000657

Table 4. Product Transportation Costs Per Unit From Suppliers To Manufacturers For Two Vehicle Types

d_{ijk}		Manufacturers			
		Vehicle Type	1	2	3
Suppliers	1	Van	0.7	0.4	0.6
		Truck	0.4	0.6	0.5
	2	Van	0.3	0.2	0.1
		Truck	0.5	0.7	0.3

Table 5. Product Transportation Costs Per Unit From Manufacturers To Distribution Centers For Two Vehicle Types

e_{jnk}		Distribution Centers		
		Vehicle Type	1	2
Manufacturers	1	Van	1.5	1.2
		Truck	1.2	1.6
	2	Van	1.3	1.6
		Truck	1.3	1.7
	3	Van	1.4	1.3
		Truck	1.4	1.5

Table 6. Product Transportation Costs Per Unit From Distribution Centers To Customers For Two Vehicle Types

f_{nmk}		Customers			
		Vehicle Type	1	2	3
Distribution Centers	1	Van	0.6	0.7	0.4
		Truck	0.3	0.4	0.6
	2	Van	0.5	0.3	0.6
		Truck	0.8	0.4	0.9

The quantity of CO_2 emission is proportional to the distance transported and the amount of weight carried. The distances between the suppliers, manufacturers, distribution centers, and customers in kilometers are shown in Figure 2.

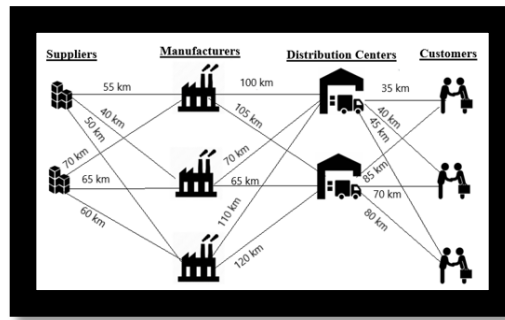


Figure 2. Distances Between The Suppliers, Manufacturers, Distribution Centers And, Customers

3.2. Solution of the Problem

In the solution phase, at first, fuzzy parameters are defuzzified using mean of maxima method to convert into crisp ones. Each objective function (Z_1, Z_2) is solved individually under the same constraints. The optimal values of the decision variables from solving the Z_1 are used to calculate the Z_2 value. On the other hand, the optimal values of the decision variables from solving the Z_2 are used to calculate the Z_1 value. Thus, pay-off matrix given in Table 7 is constituted by utilizing these objective function values.

Table 7. Pay-Off Matrix Of Problem

Min	$Z_1(x)$	$Z_2(x)$
$Z_1(x)$	16380	0.186
$Z_2(x)$	18617.408	0.152
Z_i^L	16380	0.152
Z_i^U	18617.408	0.186

The Min-Max approach of Zimmermann (1978) is implemented for the proposed FMONLP problem in order to obtain optimal solutions. For this aim, membership functions of triangular, hyperbolic and exponential are constructed by using the pay-off matrix in Table 7. Triangular membership functions related to objective functions Z_1 and Z_2 , are defined as follows:

$$\mu_1^T(Z_1(x)) = \begin{cases} 1, & Z_1(x) \leq 16380 \\ \frac{18617.408 - Z_1(x)}{18617.408 - 16380}, & 16380 \leq Z_1(x) \leq 18617.408 \\ 0, & Z_1(x) \geq 18617.408 \end{cases} \quad (22)$$

$$\mu_2^T(Z_2) = \begin{cases} 1, & Z_2 < 0.152 \\ \frac{0.186 - Z_2}{0.186 - 0.152}, & 0.152 \leq Z_2 \leq 0.186 \\ 0, & Z_2 > 0.186 \end{cases} \quad (23)$$

For Z_1 and Z_2 , hyperbolic membership functions are obtained as:

$$\mu_1^H(Z_1) = \begin{cases} 1, & Z_1 < 16380 \\ \frac{1}{2} \tanh\left(\frac{34997.408}{2} - Z_1\right) 0.0026 + \frac{1}{2}, & 16380 \leq Z_1 \leq 18617.408 \\ 0, & Z_1 > 18617.408 \end{cases} \quad (24)$$

$$\mu_2^H(Z_2) = \begin{cases} 1, & Z_2 < 0.152 \\ \frac{1}{2} \tanh\left(\frac{0.338}{2} - Z_2\right) 0.0026 + \frac{1}{2}, & 0.152 \leq Z_2 \leq 0.186 \\ 0, & Z_2 > 0.186 \end{cases} \quad (25)$$

For Z_1 and Z_2 , exponential membership functions are constituted as follows:

$$\mu^E_1(Z_1) = \begin{cases} 1, & Z_1 < 16380 \\ e^{-\frac{Z_1-16380}{2237.408} - e^{-1}}, & 16380 \leq Z_1 \leq 18617.408 \\ 0, & Z_1 > 18617.408 \end{cases} \quad (26)$$

$$\mu^E_2(Z_2) = \begin{cases} 1, & Z_2 < 0.152 \\ e^{-\frac{Z_2-0.152}{0.034} - e^{-1}}, & 0.152 \leq Z_2 \leq 0.186 \\ 0, & Z_2 > 0.186 \end{cases} \quad (27)$$

where; $s=1$, $\psi_1 = \frac{Z_1-16380}{2237.408}$ and $\psi_2 = \frac{Z_2-0.152}{0.034}$

To convert the fuzzy single-objective nonlinear programming model, common satisfaction level and membership functions of the Z_1 and Z_2 are added to the presented FMONLP model as follows:

$$\begin{aligned} & \text{Max } \lambda \\ & \lambda \leq \mu_1(Z_1) \\ & \lambda \leq \mu_2(Z_2) \\ & \text{Equations (8) - (21)} \end{aligned} \quad (28)$$

The model given in Equation (28) is solved under triangular, hyperbolic, and exponential membership functions for objective functions. Optimal solutions and common satisfaction levels are computed and given in Table 8. Additionally, optimal solutions obtained under triangular, hyperbolic and exponential membership functions are illustrated in Figure 3, Figure 4, and Figure 5, respectively.

Table 8. Optimal Solutions			
Membership Function Types			
Objective Functions	Triangular	Hyperbolic	Exponential
Z_1	16829.296	16812.158	16829.296
Z_2	0.159	0.159	0.159
λ	0.80	0.97	0.72
Decision Variables			
a_{111}	2260.741	2217.894	2260.741
a_{121}	1000	1000	1000
a_{211}	2489.259	2532.106	2489.259
a_{231}	2500	2500	2500
b_{111}	2000	2000	2000
b_{121}	2750	2750	2750
b_{211}	340.095	340.093	340.119
b_{212}	659.905	659.907	659.881
b_{311}	2378.895	2378.897	2378.880
b_{312}	121.105	121.103	121.120
r_{112}	2750	2750	2750
r_{131}	2750	2750	2750
r_{221}	2750	2750	2750

4. Sensitivity Analysis

In this section, a sensitivity analysis is carried out in order to show the accuracy of the proposed model. Different scenarios are created by making changes for customer demands and for distances between the suppliers, manufacturers, distribution centers and, customers. Then, the proposed model is solved under triangular, exponential and hyperbolic membership functions.

4.1. Sensitivity to Changes in Customer Demands

Two scenarios are created by decreasing the customer demands in the current model by 10% and increasing them by 10%. According to new parameters, the proposed model is solved under triangular, hyperbolic, and exponential membership functions and optimal solutions are given in Table 9.

Table 9. Optimal Solutions For Customer Demands

Customer Demands(-%10)				Customer Demands (+%10)			
Membership Function Types				Membership Function Types			
Objective Functions	Triangular	Hyperbolic	Exponential	Objective Functions	Triangular	Hyperbolic	Exponential
Z_1	14519.361	14539.673	14541.655	Z_1	18583.485	18604.373	18605.321
Z_2	0.143	0.143	0.143	Z_2	0.200	0.200	0.200
λ	0.74	0.94	0.64	λ	0.67	0.87	0.56
Decision Variables				Decision Variables			
a_{111}	664.536	665.575	672.185	a_{111}	187.586	190.458	193.370
a_{112}	60.464	259.425	252.815	a_{112}	2187.414	2384.542	2381.630
a_{121}	1000.000	1000.000	1000.000	a_{121}	1000.000	1000.000	1000.000
a_{211}	3200.000	3000.000	3000.000	a_{211}	3200.000	3000.000	3000.000
a_{231}	2500.000	2500.000	2500.000	a_{231}	2500.000	2500.000	2500.000
b_{111}	1450.000	1450.000	1450.000	b_{111}	1824.030	1824.118	1824.366
b_{121}	2475.000	2475.000	2475.000	b_{112}	750.970	750.882	750.634
b_{211}	716.687	716.687	716.687	b_{121}	3000.000	3000.000	3000.000
b_{212}	283.313	283.313	283.313	b_{211}	262.550	262.523	262.476
b_{311}	2500.000	2500.000	2500.000	b_{212}	737.450	737.477	737.524
r_{112}	2475	2475	2475	b_{311}	2227.941	2227.923	2227.853
r_{131}	2475	2475	2475	b_{312}	247.059	247.077	247.147
r_{221}	2475	2475	2475	b_{322}	25.000	25.000	25.000
				r_{112}	3025	3025	3025
				r_{132}	3025	3025	3025
				r_{222}	3025	3025	3025

4.2. Sensitivity to Changes in Distances

Six scenarios are created by decreasing the distances on the current model by 20% and increasing it by 20%. These changes are made for the distances between the supplier and the manufacturer, between the manufacturer and the distribution center, and between the distribution center and the customer. According to the new parameters, the model is solved according to the triangular, hyperbolic and, exponential membership functions. Comparison results are given in Tables 10, 11 and 12, respectively.

Table 10. Optimal Solutions For The Distance Between Supplier And Manufacturers

Change (-%20)				Change (+%20)			
Membership Function Types				Membership Function Types			
Objective Functions	Triangular	Hyperbolic	Exponential	Objective Functions	Triangular	Hyperbolic	Exponential
Z_1	16282.546	16288.043	16290.023	Z_1	16175.038	16197.326	16197.409
Z_2	0.157	0.157	0.157	Z_2	0.171	0.171	0.171
λ	0.68	0.90	0.58	λ	0.70	0.91	0.59
Decision Variables				Decision Variables			
a_{111}	657.152	626.809	633.409	a_{111}	706.257	714.608	715.894
a_{112}	874.848	1123.191	1116.591	a_{112}	843.743	1035.392	1034.106
a_{121}	1000.000	1000.000	1000.000	a_{121}	1000.000	1000.000	1000.000
a_{211}	3200.000	3000.000	3000.000	a_{211}	3200.000	3000.000	3000.000
a_{231}	2500.000	2500.000	2500.000	a_{231}	2500.000	2500.000	2500.000
b_{111}	2000.000	2000.000	2000.000	b_{111}	1610.536	1609.811	1608.804
b_{121}	2750.000	2750.000	2750.000	b_{112}	389.464	390.189	391.196
b_{211}	340.095	340.084	340.098	b_{121}	2750.000	2750.000	2750.000
b_{212}	659.905	659.916	659.902	b_{211}	396.562	396.928	397.435
b_{311}	2378.895	2378.902	2378.893	b_{212}	603.438	603.072	602.565
b_{312}	121.105	121.098	121.107	b_{311}	2500.000	2500.000	2500.000
r_{112}	2750	2750	2750	r_{112}	2750	2750	2750
r_{131}	2750	2750	2750	r_{131}	2750	2750	2750
r_{221}	2750	2750	2750	r_{221}	2750	2750	2750

Table 11. Optimal Solutions For The Distance Between Manufacturers And Distribution Centers

Change (-%20)				Change (+%20)			
Membership Function Types				Membership Function Types			
Objective Functions	Triangular	Hyperbolic	Exponential	Objective Functions	Triangular	Hyperbolic	Exponential
Z_1	16294.805	16317.354	16317.612	Z_1	16182.292	16227.828	16202.053
Z_2	0.146	0.146	0.146	Z_2	0.177	0.177	0.177
λ	0.66	0.87	0.55	λ	0.69	0.90	0.59
Decision Variables				Decision Variables			
a_{111}	1275.893	1281.953	1282.813	a_{111}	340.974	426.092	340.176
a_{112}	274.107	468.047	467.187	a_{112}	1209.026	1323.908	1409.824
a_{121}	1000.000	1000.000	1000.000	a_{121}	1000.000	1000.000	1000.000
a_{211}	3200.000	3000.000	3000.000	a_{211}	3200.000	3000.000	3000.000
a_{231}	2500.000	2500.000	2500.000	a_{231}	2500.000	2500.000	2500.000
b_{111}	1440.125	1442.560	1442.559	b_{111}	2000.000	2000.000	2000.000
b_{112}	559.875	557.440	557.441	b_{121}	2750.000	2750.000	2750.000
b_{121}	2750.000	2750.000	2750.000	b_{211}	336.782	336.782	336.783
b_{211}	470.771	469.843	469.843	b_{212}	663.218	663.218	663.217
b_{212}	529.229	530.157	530.157	b_{311}	2380.984	2380.984	2380.984
b_{311}	2500.000	2500.000	2500.000	b_{312}	119.016	119.016	119.016
r_{112}	2750	2750	2750	r_{112}	2750	2750	2750
r_{131}	2750	2750	2750	r_{131}	2750	2750	2750
r_{221}	2750	2750	2750	r_{221}	2750	2750	2750

Table 12. Optimal Solutions For The Distance Between Distribution Centers And Costumers

Change (-%20)				Change (+%20)			
Membership Function Types				Membership Function Types			
Objective Functions	Triangular	Hyperbolic	Exponential	Objective Functions	Triangular	Hyperbolic	Exponential
Z_1	16165.714	16215.788	16187.411	Z_1	16835.169	16798.550	16835.169
Z_2	0.154	0.154	0.154	Z_2	0.166	0.166	0.166
λ	0.70	0.90	0.60	λ	0.66	0.87	0.56
Decision Variables				Decision Variables			
a_{111}	514.370	615.792	521.328	a_{111}	2275.423	2183.874	2275.423
a_{112}	1035.630	1134.208	1228.672	a_{121}	1000.000	1000.000	1000.000
a_{121}	1000.000	1000.000	1000.000	a_{211}	2474.577	2566.126	2474.577
a_{211}	3200.000	3000.000	3000.000	a_{231}	2500.000	2500.000	2500.000
a_{231}	2500.000	2500.000	2500.000	b_{111}	2000.000	2000.000	2000.000
b_{111}	1771.344	1770.168	1770.042	b_{121}	2750.000	2750.000	2750.000
b_{112}	228.656	229.832	229.958	b_{211}	339.980	340.095	340.040
b_{121}	2750.000	2750.000	2750.000	b_{212}	660.020	659.905	659.960
b_{211}	349.355	349.365	349.398	b_{311}	2378.968	2378.895	2378.931
b_{212}	650.645	650.635	650.602	b_{312}	121.032	121.105	121.069
b_{311}	2469.560	2470.030	2470.059	r_{112}	2750	2750	2750
b_{321}	30.440	29.970	29.941	r_{131}	2750	2750	2750
r_{112}	2750	2750	2750	r_{221}	2750	2750	2750
r_{131}	2750	2750	2750				
r_{221}	2750	2750	2750				

According to the results of the sensitivity analysis, the hyperbolic membership function provides the highest level of satisfaction in all scenarios created by the changes made in the parameters. Therefore, it is suggested that the hyperbolic membership function can be used to obtain optimal solutions for the considered FMONLP problem.

5. Result and Discussion

In this study, a green supply chain network model on the basis of transportation problem is presented. This model is remarkable because of the nonlinear structure of its constraints and considering the environmental impact factor, especially CO_2 emissions. The model is examined as a FMONLP problem in which the total transportation costs and total CO_2 emissions generated by two different vehicles during transportation are minimized. In the presented FMONLP model, the most efficient membership function is tried to be determined and tested on a numerical example.

It is found that the maximum common satisfaction level is $\lambda = 0.97$ using the hyperbolic membership function. Total transportation cost is minimized in the first objective function Z_1 . The total transportation cost calculated using both triangular and exponential membership functions are $Z_1 = 16829.296$, while it is calculated as $Z_1 = 16812.158$ using the hyperbolic membership function. In the second objective function Z_2 , total amount of CO_2 emission is minimized. The total CO_2 emission calculated using triangular, exponential, and hyperbolic membership functions are equal, that is, $Z_2 = 0.159$ kg.

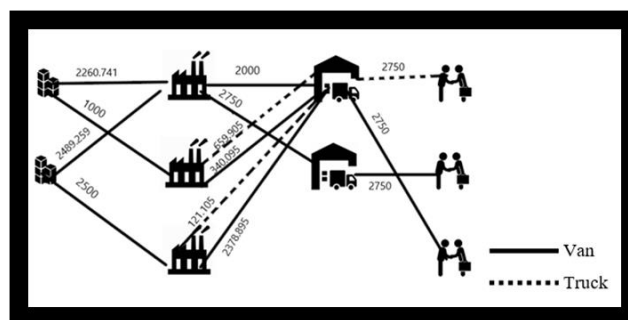


Figure 3. Optimal Distribution Network Under Triangular Membership Function

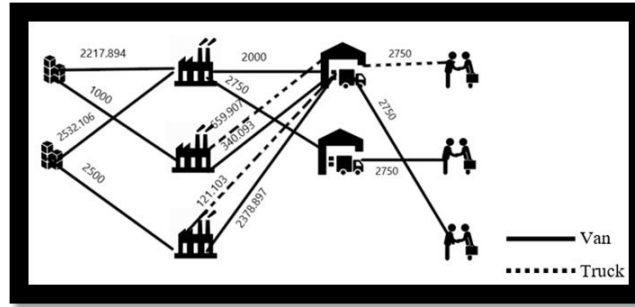


Figure 4. Optimal Distribution Network Under Hyperbolic Membership Function

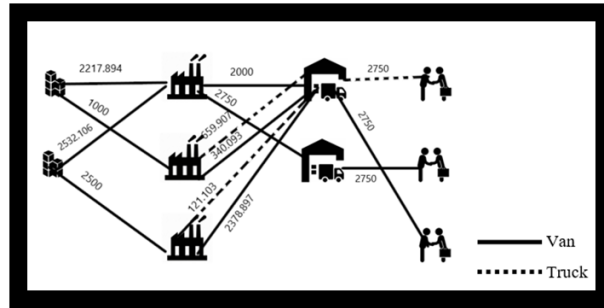


Figure 5. Optimal Distribution Network Under Exponential Membership Function

According to the results, the nonlinear hyperbolic membership function is provided a higher satisfaction level than the linear triangular membership function for the proposed FMONLP model. Sensitivity analyses are then carried out to measure the sensitivity of the model results for different parameter values for demand of customers and also distances between suppliers, manufacturers, distribution centers, and customers.

The increasing or decreasing demand of customers directly affects the satisfaction levels (λ) of the presented model. For instance, a 10% decrease in demand of customers results in 0.74, 0.94, and 0.64 for triangular, hyperbolic and exponential membership functions, respectively, while a 10% increase in demand of customers results in 0.67, 0.87, and 0.56.

On the other hand, the increasing or decreasing distances between suppliers, manufacturers, distribution centers, and customers have important effects on the satisfaction levels (λ) of the presented model. For example, a 20% decrease in distances results in 0.68, 0.90, and 0.58, for triangular, hyperbolic and exponential membership functions, respectively, while a 20% increase in distances results in 0.70, 0.91, and 0.59. Similar results are obtained according to other changes in distances. Thus, the proposed FMONLP model with hyperbolic membership functions performs better than triangular and exponential in all of the scenarios. Although linear membership functions have been applied in real life problems due to their ease of implementation in most of the studies, it is seen that nonlinear membership functions also give good solutions.

In future studies, the proposed FMONLP model can be applied to more complicated GSCN models and it can be solved by adding various constraints and objective functions in linear or nonlinear form. FMONLP models can be compared under different nonlinear membership functions, different defuzzification techniques for fuzzy parameters or different linearization techniques. In addition, other solution methods in the literature proposed for FMOP problems can be carried out and comparisons can be made under various linear and/or nonlinear membership functions.

Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışma, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İstatistik Anabilim Dalı'nda Prof. Dr. Nimet YAPICI PEHLIVAN danışmanlığında Özlem AKARÇAY tarafından "Bulanık çok amaçlı doğrusal olmayan programlama problemlerinin çeşitli üyelik fonksiyonları altında incelenmesi" başlığı ile tamamlanarak 05.07.2019 tarihinde savunulan Yüksek Lisans tezinden üretilmiştir.

Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

References

- Akarçay, Ö., 2019. Bulanık çok amaçlı doğrusal olmayan programlama problemlerinin çeşitli üyelik fonksiyonları altında incelenmesi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İstatistik Anabilim Dalı ,Yüksek Lisans Tezi.
- Bellman RE, Zadeh LA., 1970. Decision-Making in a Fuzzy Environment. *Management Science*, 17(4), 141-164.
- Bit A, Biswal M, Alam S., 1993. Fuzzy programming approach to multiobjective solid transportation problem. *Fuzzy Sets and Systems*, 57(2), 183-194.
- Bit AK., 2004. Fuzzy programming with hyperbolic membership functions for multiobjective capacitated transportation problem. *Opsearch*, 41(2), 106-120.
- Bodkhe S, Bajaj VH, Dhaigude RM., 2010. Fuzzy programming technique to solve bi-objective transportation problem. *International Journal of Machine Intelligence*, 2(1), 46-52.
- Chin TA, Tat HH, Sulaiman Z., 2015. Green supply chain management, environmental collaboration and sustainability performance. *Procedia CIRP*, 26, 695-699.
- Chunguang Q, Xiaojuan C, Kexi W, Pan P., 2008. Research on Green Logistics and Sustainable Development. 2008 International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering, Taiwan, 19-21 December.
- Das, S. K., 2022. A fuzzy multi objective inventory model of demand dependent deterioration including lead time. *Journal of Fuzzy Extensions and Applications*, 3(1), 1-18.
- Fares M, Kaminska B., 1995. Fuzzy nonlinear programming approach to analog circuit design. *IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems*, 14(7), 785-793.
- Hu KJ., 2017. Fuzzy goal programming technique for solving flexible assignment problem in PCB assembly line. *Journal of Information and Optimization Sciences*, 38(3-4), 423-442.
- Kuwano H., 1996. On the fuzzy multi-objective linear programming problem: Goal programming approach. *Fuzzy Sets and Systems*, 82(1), 57-64.
- Liang TF., 2006. Distribution planning decisions using interactive fuzzy multi-objective linear programming. *Fuzzy Sets and Systems*, 157(10), 301-316.
- Liang TF., 2007. Applying fuzzy goal programming to production/transportation planning decisions in a supply chain. *International Journal of Systems Science*, 38(4), 293-304.
- Liang TF, Cheng HW., 2009. Application of fuzzy sets to manufacturing/distribution planning decisions with multi-product and multi-time period in supply chains. *Expert Systems with Applications*, 36(2), 3367-3377.
- Li, M., Fu, Q., Singh, V. P., Liu, D., Li, T., Zhou, Y., 2020. Managing agricultural water and land resources with tradeoff between economic, environmental, and social considerations: A multi-objective non-linear optimization model under uncertainty. *Agricultural systems*, 178, 102685.
- Kannan D, Khodaverdi R, Olfat L, Jafarian A, Diabat A., 2013. Integrated fuzzy multi criteria decision making method and multi-objective programming approach for supplier selection and order allocation in a green supply chain. *Journal of Cleaner Production*, 47, 355-367.
- Kara, N., Kocken, H. G., 2021. A Fuzzy Approach to Multi-Objective Solid Transportation Problem with Mixed Constraints Using Hyperbolic Membership Function. *Cybernetics and Information Technologies*, 21(4), 158-167.
- Medina-González SA, Rojas-Torres MG, Ponce-Ortega JM, Espuña A, Guillén-Gosálbez G., 2018. Use of nonlinear membership functions and the water stress index for the environmentally conscious management of urban water systems: Application to the city of Morelia. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 6(6), 7752-7760.
- Miah, M. M., Rashid, A., Khan, A. R., Uddin, M. S., 2022. Goal programming approach for multi-objective optimization to the transportation problem in uncertain environment using fuzzy non-linear membership functions. *Journal of Bangladesh Academy of Sciences*, 46(1), 101-115.
- Mohammed A, Wang Q., 2017. The fuzzy multi-objective distribution planner for a green meat supply chain. *International Journal of Production Economics*, 184, 47-58.
- Orlovski S, Rinaldi S, Soncini Sessa R., 1984. A min-max approach to reservoir management. *Water Resources Research*, 20(11), 1506-1514.
- Peidro D, Vasant P., 2011. Transportation planning with modified S-curve membership functions using an interactive fuzzy multi-objective approach. *Applied Soft Computing*, 11(2), 2656-2663.
- Sakawa M, Yano H., 1985. Interactive fuzzy decision-making for multi-objective nonlinear programming using reference membership intervals. *International Journal of Man-Machine Studies*, 23(4), 407-421.
- Shaw K, Shankar R, Yadav SS, Thakur LS., 2012. Supplier selection using fuzzy AHP and fuzzy multi-objective linear programming for developing low carbon supply chain. *Expert Systems with Applications*, 39(9), 8182-8192.
- Shuwang W, Lei Z, Zhifeng L, Guangfu L, Zhang HC., 2005. Study on the performance assessment of green supply chain, IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, Waikoloa, HI, USA, 12-12 October.
- Singh SK, Yadav SP., 2018. Intuitionistic fuzzy multi-objective linear programming problem with various membership functions. *Annals of Operations Research*, 269, 693-707.
- Torabi SA, Hassini E., 2008. An interactive possibilistic programming approach for multiple objective supply chain master planning. *Fuzzy Sets and Systems*, 159(2), 193-214.
- Verma R, Biswal M, Biswas A., 1997. Fuzzy programming technique to solve multi-objective transportation problems with some non-linear membership functions. *Fuzzy Sets and Systems*, 91(1), 37-43.
- Wang RC, Liang TF., 2004. Application of fuzzy multi-objective linear programming to aggregate production planning. *Computers & Industrial Engineering*, 46(1), 17-41.

- Zadeh LA., 1965. Fuzzy sets. *Information and Control*, 8(3), 338-353.
- Zangiabadi M, Maleki H., 2007. Fuzzy goal programming for multiobjective transportation problems. *Journal of Applied Mathematics and Computing*, 24(1), 449-460.
- Zangiabadi M, Maleki HR., 2013. Fuzzy goal programming technique to solve multiobjective transportation problems with some non-linear membership functions. *Iranian Journal of Fuzzy Systems*, 10(1), 61-74.
- Zeng X, Kang S, Li F, Zhang L, Guo P., 2010. Fuzzy multi-objective linear programming applying to crop area planning. *Agricultural Water Management*, 98(1), 134-142.
- Zhao J, Bose BK., 2004. Evaluation of membership functions for fuzzy logic controlled induction motor drive. *IEEE 2002 28th Annual Conference of the Industrial Electronics Society, IECON 02(1):229-234, Seville, Spain, 5-8 November 2002.*
- Zimmermann, H. J., 1978. Fuzzy programming and linear programming with several objective functions. *Fuzzy Sets and Systems*, 1(1), 45-55.



GRİ KURT ALGORİTMASI İLE 900 MHZ GSM BANT UYGULAMALARI İÇİN DÜŞÜK GÜRÜLTÜLÜ KUVVETLENDİRİCİ TASARIM OPTİMİZASYONU

Aysu BELEN*

İskenderun Teknik Üniversitesi, İskenderun Meslek Yüksek Okulu, Hibrid ve Elektrikli Araçlar Bölümü, Hatay, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Düşük Gürültülü Yükselteç, GSM, Kablosuz Haberleşme, Gri Kurt, Optimizasyon.</i>	Bu çalışmada GSM uygulamalarına yönelik, yüksek performanslı bir düşük gürültülü kuvvetlendirici (DGK) tasarımı ele alınmıştır. Toplam sistemin gürültüsüne olan baskın etkisinden dolayı, DGK kablosuz haberleşme sistemlerinin anahtar elemanlarından biridir. Her ne kadar da birden çok transistör elemanı ve kat yapısı kullanılarak çok yüksek kazanç ve düşük gürültü karakteristiği elde edilebiliyor ise de, bu yöntem toplam tasarım karmaşıklığını ve üretim maliyetini ciddi bir şekilde etkilemektedir. Bu çalışma kapsamında, tek bir transistör elemanı kullanılarak 14.3 dB kazanç, 15 dB den düşük geri dönüş kaybı ve 1.8 dB seviyesinde gürültü karakteristiği gösteren GSM 820-980 MHz uygulamalarına uygun bir tasarım önermektedir.

DESIGN OPTIMIZATION OF LOW NOISE AMPLIFIER FOR 900MHZ GSM BAND APPLICATIONS USING GREY WOLF ALGORITHM

Keywords	Abstract
<i>Low Noise Amplifier, GSM, Wireless Communications, Grey Wolf, Optimization.</i>	In this work, the design of a high-performance single-stage Low Noise Amplifier (LNA) for GSM applications is taken into consideration. LNA design is one of the key stages of a wireless communication system due to its dominance over the whole system's noise figure performance. Although it is possible to achieve a very high gain and low noise figure with the usage of multi-stage transistors, such designs would also have a high complexity and manufacturing cost. The main aim of this work is to propose a single transistor LNA design for GSM application with a gain level of 14.3 dB, return loss level of less than 15 dB, and noise figure of 1.8 dB over the operation band of 820-980 MHz. the optimal design variables of the model is obtained via Grey Wolf optimization procedure.

Alıntı / Cite

Belen, A., (2023). Design Optimization of Low Noise Amplifier for 900MHz GSM Band Applications using Grey Wolf Algorithm, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(3), 873-879.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process
A. Belen, 0000-0001-5038-424X	Başvuru Tarihi / Submission Date 02.02.2023 Revizyon Tarihi / Revision Date 21.05.2023 Kabul Tarihi / Accepted Date 19.06.2023 Yayın Tarihi / Published Date 28.09.2023

* İlgili yazar / Corresponding author: aysu.belen@iste.edu.tr, +90-326-618-2931

DESIGN OPTIMIZATION OF LOW NOISE AMPLIFIER FOR 900MHZ GSM BAND APPLICATIONS USING GREY WOLF ALGORITHM

Aysu BELEN[†]

İskenderun Teknik Üniversitesi, İskenderun Meslek Yüksek Okulu, Hibrid ve Elektrikli Araçlar Bölümü, Hatay, Türkiye

Highlights

- Design Optimization
- High Performance LNA
- Grey Wolf Optimization

Purpose and Scope

Design optimization of high performance LNA

Design/methodology/approach

In this work, the design of a high-performance LNA stage for GSM applications had been achieved using Grey Wolf optimization technique. The main goal of the design is to achieve the requested performance with a single-stage LNA design with the lowest possible noise figure, power consumption, and design size.

Findings

Application of GWO on single stage LNA design

Research limitations/implications

The availability transistors to be used for modelling of LNA.

Practical implications

LNA design is one of the key stages of a wireless communication system due to its dominance over the whole system's noise figure performance. In any wireless communication where a lossless data communication is required LNA is a crucial element.

Originality

An efficient approach for design and optimization of LNA without need of expert knowledge using Artificial Intelligence algorithm (GWO).

1. Introduction

With respect to the ever-increasing demand for high-speed large data communications for wireless systems, the need for high performance designs has also increased. The challenges of such designs are not only limited to their performance measures but also other parameters such as cost, overall size, and material limitations with respect to applications are also other concerns that challenges the designer. One of the most commonly used applications of wireless communications is GSM, which has many uses for both civilian and military applications and is an important study field (Ulrich, 2000; Kluge, 2003; Akyildiz, 2002; Alaybeyoğlu, 2009).

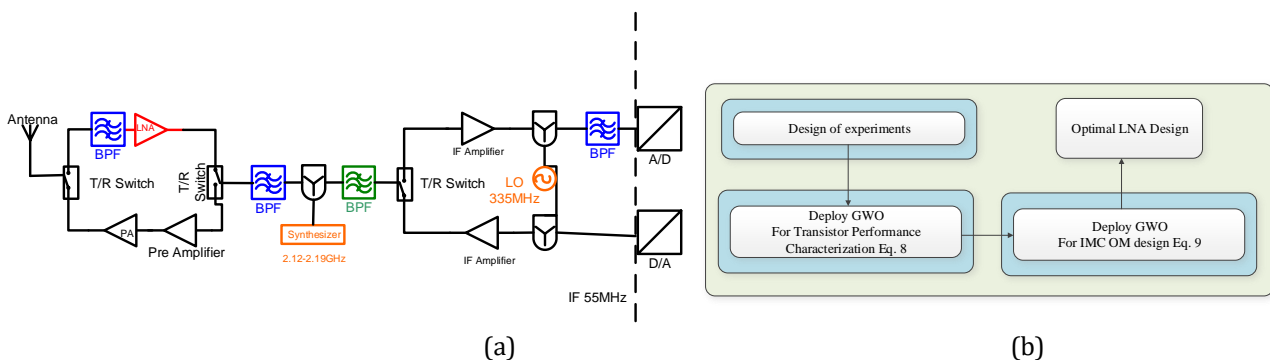


Figure 1. (a) Schematic Of RF Front-End Receiver, (b) Flow Chart Of Proposed Work.

[†] Corresponding author: aysu.belen@iste.edu.tr, +90-326-618-2931

In Figure 1, a general schematic for a wireless front-end communication system is presented. The RF signal is taken via an antenna stage from the space, and then after the received signals are process to be converted from analogue to digital signals for communication. As it can be seen from the figure, the first stage and key element in wireless communication is antenna element, where its performance is essential and the methodologies to improve this performance are being studied by many researchers (Esame, 2006; Çalışkan, 2019; Koçer, 2020; Pozar, 1998), (Demirel, 2017; Mahouti, 2012; Belen, 2021; Kumar, 2019; Roobert, 2020; Khosravi, 2019; Chamg, 2019; Ke, 2018; Belostatski, 2022). However, even with a perfectly designed antenna stage, this is not sufficient to have a high performance communication system. Another key element in this system is the Low Noise Amplifier (LNA) stage, which mainly effects the sensitivity of the system to noise and unwanted signals from other sources. In this work, the design of a high performance LNA for GSM applications is taken into consideration.

2. RF Amplifier Design

As mentioned before, high-performance designs are of crucial importance to satisfy the high demands of the communication industry. LNA is one of the main elements in which the received signals are amplified with the lowest possible noise effects to increase the overall performance of the communication system. The main challenge is that the LNA must amplify the signal with the lowest possible noise figure due to the main effect of this stage's noise level on the overall noise figure of the whole system. Although it is possible to have such designs with multi-stage LNA designs, this method would also increase the complexity, overall cost, and total power consumption level of the whole design. Thus, the design of a high-performance, low power consumption LNA with a single-stage is a challenging problem where not only the mentioned challenges must be satisfied but also the design must have good impedance matching performance (Danacı, 2020; Hashemi, 2002). In this work, the scattering parameters, which are an essential material for high-performance LNA designs (Esame, 2006; Hove, 2004; Doddamani, 2007; Stece, 1999), had been used for the calculation of critical performance measures of LNA such as Noise Figure, overall gain, and bandwidth.

However, achieving these conflicting design measures is a challenging procedure that either requires a highly accurate and complex calculation and expert knowledge or via an optimization process guided by artificial intelligence algorithms (Mahouti, 2012). The performance of LNAs is heavily influenced by the design of their passive components, such as inductors and capacitors, and optimizing these components is crucial for achieving high gain, low noise, and broadband performance. Traditionally, optimization of LNAs has been performed using conventional optimization algorithms such as honey bee mating (Mahouti, 2012), genetic algorithms (Chen, 2013) and particle swarm optimization (Ulker, 2012). However, these algorithms have several limitations, including poor convergence and sensitivity to the initial solution.

Recently, a new optimization algorithm, the Grey Wolf Optimizer (GWO), has emerged as a promising alternative to conventional optimization algorithms. The Grey Wolf Optimizer (GWO) is a population-based optimization algorithm that is inspired by the hunting and preying behaviour of grey wolves and is based on a multi-objective optimization framework. The GWO algorithm is known for its ability to efficiently search the solution space, avoid local optima, and converge to the global optimal solution (Seyyedabbasi, 2023). The basic principle of the GWO algorithm is to mimic the behaviour of a pack of grey wolves hunting for their prey. The pack of wolves consists of three types of individuals: the alpha wolf, the beta wolf, and the delta wolf. The alpha wolf is the strongest and most experienced wolf; the beta wolf is the second strongest, and the delta wolf is the weakest. The GWO algorithm starts with a randomly generated initial population of candidate solutions. In each iteration, the algorithm updates the position of the wolves in the solution space based on their hunting behaviour. The alpha wolf is updated based on the best solution in the current population, the beta wolf is updated based on the second best solution, and the delta wolf is updated based on the worst solution. The updated positions of the wolves are then used to update the positions of the other individuals in the population. The GWO algorithm continues until a stopping criterion is met, such as a maximum number of iterations or a desired accuracy level (Singh, 2022). The final population of candidate solutions provides a set of potential solutions for the optimization problem, and the best solution among them represents the global optimal solution (Ahmed, 2022).

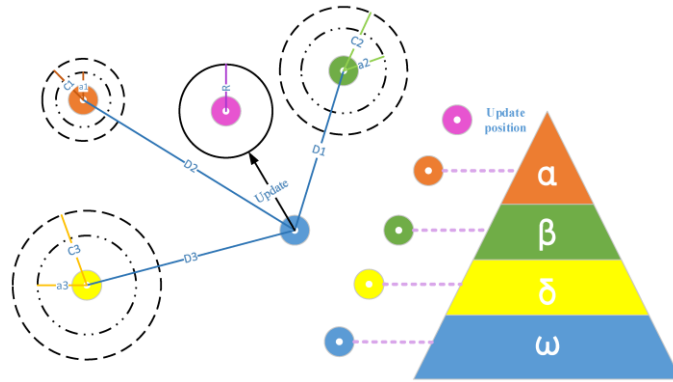


Figure 2. The Diagram Of GWO (Greywolf Optimization) Algorithm [Dai, 2018].

In this research paper, we explore the use of the GWO algorithm (Seyyedabbasi, 2023; Kiani, 2021) for optimizing the passive components of a microwave LNA. We evaluate the performance of the optimized LNA using simulation results, and compare it to LNAs optimized using other optimization algorithms. Our results show that the GWO algorithm is an effective tool for optimizing the performance of microwave LNAs and provides significant improvements in terms of gain, noise figure, and return loss using the following equations as the cost function. The obtained optimal termination value for targeted LNA design is presented in Table 1.

$$F(Z_S) = F \frac{R_n |Z_S - Z_{opt}|^2}{|Z_{opt}|^2 R_S} \quad \min \quad (1)$$

$$G_T(Z_S, Z_L) = \frac{4R_S R_L |z_{21}|^2}{|(z_{11} + Z_S)(z_{22} + Z_L) - z_{12} z_{21}|^2} \quad (2)$$

$$G_{AV}(Z_S) = \frac{|z_{21}|^2 R_S}{|z_{11} + Z_S|^2 R_{out}} \quad (3)$$

$$V_{in}(Z_S, Z_L) = \frac{1 + |\rho_{in}|}{1 - |\rho_{in}|}, \quad |\rho_{in}|^2 = \left| \frac{Z_{in} - Z_S^*}{Z_{in} + Z_S} \right|^2 \quad (4)$$

$$V_{out}(Z_S, Z_L) = \frac{1 + |\rho_{out}|}{1 - |\rho_{out}|}, \quad |\rho_{out}|^2 = \left| \frac{Z_{out} - Z_L^*}{Z_{out} + Z_L} \right|^2 \quad (5)$$

The physical realizability conditions can be given as:

$$\Re\{Z_{in}\} = R_{in} = \Re \left\{ z_{11} - \frac{z_{12} z_{21}}{z_{22} + Z_L} \right\} > 0 \quad (6)$$

$$\Re\{Z_{out}\} = R_{out} = \Re \left\{ z_{22} - \frac{z_{12} z_{21}}{z_{11} + Z_S} \right\} > 0 \quad (7)$$

$$\text{Cost}_1 = f(R_S, X_S, R_L, X_L) = A|F| + e^{-\frac{G_{av}}{B}} + C|V_{outopt}| + D|V_{inopt}| \quad (8)$$

Table 1. Computed Results Of GWO For BFP193W At $V_{DS} = 10V, I_{DS} = 30\text{ma}$ For $(F_{req} = F_{min}, V_{inopt}, V_{outopt}, G_{Tmax})$ Quadruplets.

f MHz	R_L	X_L	R_S	X_S	V_{in}	V_{out}	F	G_T [dB]
900	15.5	-1.6	35.9	10.7	1.7	1.7	1.6	17.5

$$\text{Cost}_2 = f(C_1, \dots, C_5, R_1, \dots, R_3, L_1, L_2, f) = |Z_{LTarget} - Z_{Li}| + |Z_{STarget} - Z_{Si}| \quad (9)$$

Here, Z_S and Z_L are the source and load terminations of the matching circuit which their values will be determined based on the values of design variables given in Fig. 2. All the simulations are done in advancing the Wireless Revolution Microwave Office (AWR Office) environment for the design of 900MHz for GSM applications. BFP193W (Infineon, 2023) from Infineon is taken as a high-performance transistor suitable for the selected application. The design will be placed on FR4 material with a substrate height of 1.58 mm and a die-electric constant of 4.6. In figure 2 the schematic of the aimed LNA design is presented alongside the value of RLC elements in Table 2.

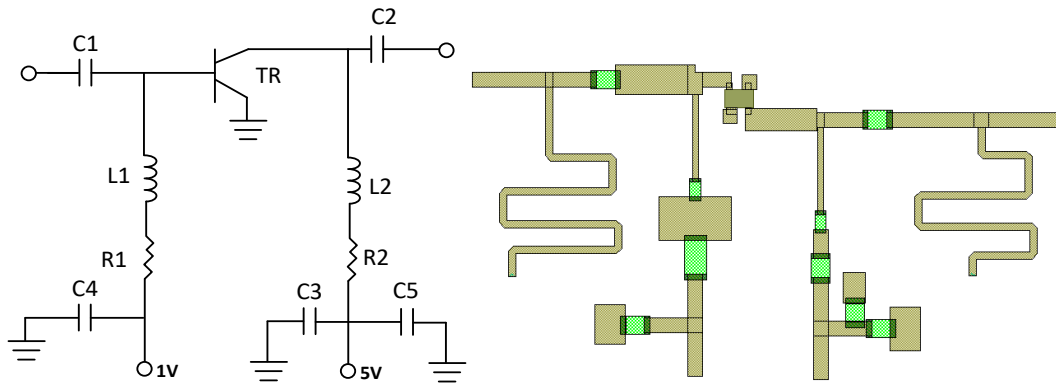


Figure 2. Schematic Views Of The LNA Designed For GSM Band Applications.

Table 2. Optimally Determined Design Variables Value Using Eq. 9

C1	100pF	R1	4.7Kohm
C2	100pF	R2	47ohm
C3	3300nF	R3	3.9Kohm
C4	330nF	C5	330nF
L1	15 nH	L2	10nH

In figure 3 and table 2, the simulated performance measures of the proposed LNA design is presented. As it can be seen both S_{11} and S_{22} characterises of the design is less than -15 dB while the S_{21} is around 14.3 dB, and the noise figures of the design is simulated as 1.8 dB for the aimed operation frequency. In Figs. 3(c) and (d) the simulated performance result of gain and 1 dB compression point of design are presented. As it can be seen form the presented results in Table 2, the proposed design achieves sufficiently good performance characteristics for GSM band applications with a low power consumption level of 300 mW and a low design area of 45x25mm².

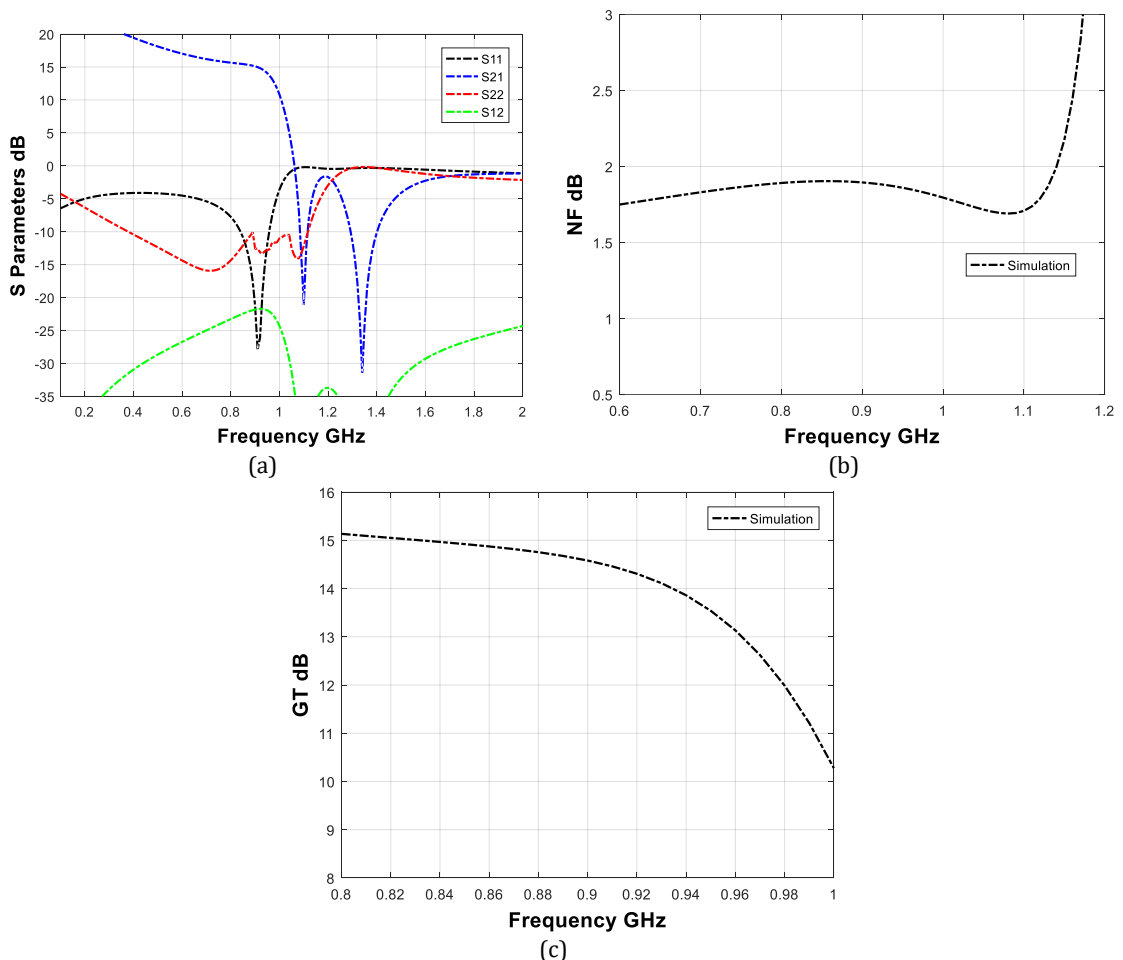


Figure 3. Simulated Performance Of Design LNA (a) Scattering Parameters, (b) Noise Figure, (c) Gain.

Table 3. Simulated Performance of the Proposed LNA Design

Parameter	Simulated
Vcc	10V
Operation Frequency [MHz]	900
Noise Figure (dB)	1.8
Gain (dB)	>14
Return Loss (dB)	>25
Output return Loss (dB)	>10
Resonance Frequency [MHz]	900
Power consumption	300mW
Current consumption	60mA
Stability (K)	>1
Size (mm)	42x25

3. Result and Discussion

In this work, the design of a high-performance LNA stage for GSM applications had been achieved using Grey Wolf optimization technique. The main goal of the design is to achieve the requested performance with a single-stage LNA design with the lowest possible noise figure, power consumption, and design size. BFP193W had been used as a high-performance transistor element for the proposed design of LNA. The simulated performance of the LNA is obtained as, a gain level of 14.3 dB, a noise figure of 1.8 dB, and a return loss of less than 15 dB with 33.6 mW power consumption on FR4 material substrate with overall design area of 33x22 mm. The designed LNA achieves a good performance measure at the aimed operation frequency of 900 GHz and preserves its performance over the operation band of 820-980 MHz. thus based on the obtained results the proposed design is a good candidate for GSM band applications.

In this work, design optimization procedure for LNA design using GWO is studied. The used algorithm GWO is surely an efficient method for solution of engineering optimization problems with respect to its back ground on different type of problems. However it is worth mentioning that there might be other algorithms that can present better solutions compared to GWO. In future works, it is aimed to present a detailed analyses of Meta-heuristic optimization algorithm on this study problem and classify their performance based on convergence speed, trapping in local minimal and computationally efficiency rate of algorithms.

Conflict of Interest

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

References

- Akyildiz, I. F., Su, W., Sankarasubramaniam, Y., and Cayirci, E., 2002. "Wireless Sensor Networks-A Survey", Elsevier Computer Networks, 38:393-422.
- Alaybeyoğlu, A., Kantarcı, A., and Erciyes, K., 2009. Telsiz Duyurga Ağlarında Hedef İzleme Senaryoları, Akademik Bilişim 2009 konferansı, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa.
- Belen, A. "WLAN Uygulamaları için Düşük Gürültülü Kuvvetlendirici Tasarımı, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 2021, (25): 665-668.
- Belostotski, L., Klumperink, E. A. M., Figures of Merit for CMOS Low-Noise Amplifiers and Estimates for Their Theoretical Limits. IEEE transactions on circuits and systems II: express briefs, 2022, 69(3), 734-738.
- Chang, W. L., Analytical noise optimization of single-/dual-band MOS LNAs with substrate and metal loss effects of inductors, IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers, 2019, 66(7): 2454-2467.
- Chen, Hao-Hui, Ming-Huei Chen, and Cheng-Yu Tsai. "Optimization of low noise amplifier designs by genetic algorithms." In 2013 International Symposium on Electromagnetic Theory, pp. 493-496. IEEE, 2013.
- Çalışkan, A., Kızılay, A., Belen, M., Mahouti, P., 2019. ISM Band Haberleşme Uygulamaları İçin Origami Anten Tasarımı . Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 2019(16): 785-791.
- Danacı, H, Palandöken, M., 2020. A Novel Electronically Reconfigurable Antenna Design for RFID and GSM 900 MHz Applications, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi , Ejosat Özel Sayı 2020 (ICCEES), 304-307.
- Demirel, S., Güneş, F., and Mahouti, P., Adjoint sensitivity analysis of the T, Π, and L types of microstripline low noise amplifiers, Int. J. Numer. Model., 2017, 30.
- Doddamani, N. D., Nandi, A. V., and Chandra, H., 2007. Design of SPDT Switch, 6 Bit Digital Attenuator, 6 Bit Digital Phase Shifter for L-Band T/R Module using 0.7 μm GaAs MMIC Technology, International Conference on Signal Processing, Communications and Networking, 2007, 302 – 307.
- Esame, O., Kaynak, M., Kavlak, C., Bozkurt, A., Tekin, I., and Gürbüz, Y., 2006. IEEE 802.11a Standard Uyumlu, RF Alıcı-Verici Alt-Blok Devrelerinin Gerçeklenmesi, URSl, Hacettepe Üniversitesi, 2006.

- Hashemi, H., and Hajimiri, A., 2002. Concurrent Multi-Band Low- Noise Amplifiers Theory, Design and Applications, IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques, 50(1): 288-301.
- Hove, C., and Faaborg, J., 2004. 0.35 μm CMOS T/R Switch for 2.4 GHz Short Range Wireless Applications, Analog Integrated Circuits and Signal Processing, 2004,38: 35-42.
- <https://www.infineon.com/cms/en/product/rf-wireless-control/rf-transistor/ultra-low-noise-sigec-transistors-for-use-up-to-12-ghz/bfp720/>
- Ke, Z., Mou, S., Ma, K., and Meng, F., A 0.7/1.1-dB ultra-low noise dual-band LNA based on SISL platform, IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2018, 66(10): 4576-4584.
- Kiani, Farzad, Amir Seyyedabbasi, and Peyman Mahouti. "Optimal characterization of a microwave transistor using grey wolf algorithms." Analog Integrated Circuits and Signal Processing 109 (2021): 599-609.
- Khosravi, H., Zandian, S., Bijari, A., and Kandalaf, N., "A low power, high gain 2.4/5.2 GHz concurrent dual-band low noise amplifier," 2019 IEEE 9th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC), 2019, 0788-0792.
- Kluge, W., Dathe, L., Jaehne, R., Ehrenreich, S., Eggert, D., 2003 .A 2.4GHz CMOS Transceiver for 802.11b Wireless LANs, IEEE ISSCC Dig. Tech. Papers, 360–361.
- Koçer, M., Aydemir, M., 2020. Microstrip Patch Antenna Design for Military Satellite Communication . Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi , Ejosat Özel Sayı, 142-147.
- Kumar, A. A., Dutta, A., and Sahoo, B. D., A Low-Power Reconfigurable Narrowband/Wideband LNA for Cognitive Radio-Wireless Sensor Network, IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems, 2019, 28(1): 212-223.
- Mahouti, P. , Güneş F. and Demirel, S., Honey bees mating algorithm applied to feasible design target space for a wide- band front- end amplifier, 2012 IEEE International Conference on Ultra-Wideband, 2012, 251-255.
- Pozar, D. M., 1998. John Wiley&Wiley, Microwave Engineering.
- Roobert, A. A., and Rani, D. G. N., Design and analysis of 0.9 and 2.3-GHz concurrent dual-band CMOS LNA for mobile communication, International Journal of Circuit Theory and Applications, 2020, 48(1): 1-14.
- Rohde, U. L. 2000. John Wiley&Sons, RF/Microwave Circuit Design for Wireless Applications, Inc.
- Seyyedabbasi, Amir, Farzad Kiani, Tofigh Allahviranloo, Unai Fernandez-Gamiz, and Samad Noeiaghdam. "Optimal data transmission and pathfinding for WSN and decentralized IoT systems using I-GWO and Ex-GWO algorithms." Alexandria Engineering Journal 63 (2023): 339-357.
- Stece, C., 1999. RF Power Amplifiers for Wireless Communications, Artech House.
- Ulker, Sadik. "Design of low noise amplifiers using particle swarm optimization." arXiv preprint arXiv:1208.6028 (2012).
- Dai, Shuyu, Dongxiao Niu, and Yan Li. "Daily peak load forecasting based on complete ensemble empirical mode decomposition with adaptive noise and support vector machine optimized by modified grey wolf optimization algorithm." *Energies* 11, no. 1 (2018): 163.
- Ahmed, Hemn Unis, Reham R. Mostafa, Ahmed Mohammed, Parveen Sihag, and Azad Qadir. "Support vector regression (SVR) and grey wolf optimization (GWO) to predict the compressive strength of GGBFS-based geopolymer concrete." *Neural Computing and Applications* 35, no. 3 (2023): 2909-2926.
- Singh, Shitum, and Jagdish Chand Bansal. "Mutation-driven grey wolf optimizer with modified search mechanism." *Expert Systems with Applications* 194 (2022): 116450.



DESIGN AND MANUFACTURING OF PNEU-MECHANIC DOBBY MACHINERY

Murat KODALOĞLU^{1*}, Fevzi BEDİR², Feyza AKARSLAN KODALOĞLU³

¹Isparta University of Applied Sciences, Vocational School of Technical Sciences, Occupational Health and Safety Program, Isparta, Turkey.

²Gebze Technical University Engineering Faculty, Mechanical Engineering, Kocaeli, Turkey

³Suleyman Demirel University Engineering Faculty, Textile Engineering, Isparta, Turkey.

Keywords

*Design,
Pneu-mechanic,
Manufacturing,
Weaving,
Dobby Machinery.*

Abstract

The contents of the shed opening frames used in the weaving machines and the pneumatic connections used in the dobbie mechanisms of the shedding cost were made. As a result of the weaving, a new dobbie with low cost, easy to manufacture and maintain was designed and produced in weaving machines. In particular, you can run a system that can manufacture fabrics with minimized tensions in warp threads. After executing the cam and tracking design, the drive, select, and motion acquisition to the frames were fabricated and assembled. After seeing the precise adjustments of the mechanisms, they were automatically operated at different speeds. Optimum results have been achieved in the incoming tension values in the warp with the new generation pneu-mechanical dobbie machine, which is one of the shedding devices used to create sheds in Bizim Study weaving machines and provides the movements of frames for this purpose. The average warp tension during the weaving process was 34.6 cN.

PNÖ-MEKANİK ARMÜR MAKİNASININ TASARIM VE İMALATI

Anahtar Kelimeler

*Tasarım,
Pnö-mekanik,
İmalat,
Dokuma,
Armür Makinası.*

Öz

Bu çalışmada, dokuma makinelerinde kullanılan ağızlık açma mekanizmalarının incelenmesi ve ağızlık açma sistemlerinden armürlü mekanizmalarda kullanılan pnömatik mekanizmalarının araştırılması yapılmıştır. Yapılan araştırmalar sonucu dokuma makinelerinde kullanılacak maliyeti düşük, üretimi ve bakımı kolay yeni bir armür tasarlanıp üretilmiştir. Özellikle çözgü iplerindeki gerilmeleri en aza indirilmiş kumaş imalatı yapabilecek bir sistem geliştirilmiştir. Kam ve izleyici tasarımı tamamlandıktan sonra tahrik, seçim ve çerçevelere hareket iletim mekanizmalarının üretimi ve montajı yapılmıştır. Mekanizmaların hassas ayarlamaları da tamamlandıktan sonra farklı hızlarda otomatik olarak çalıştırılması sağlanmıştır. Çalışmamızda dokuma makinelerinde ağızlık oluşturmak için kullanılan, bu amaçla çerçevelerin hareketlerini sağlayan ağızlık açma tertibatlarından birisi olan yeni nesil pnö-mekanik armür makinesi ile çözgüde meydana gelen gerilim değerlerinde optimum sonuçlara ulaşılmıştır. Dokuma işlemi boyunca ortalama çözgü gerilimi 34,6 cN olarak gerçekleşmiştir.

Alıntı / Cite

Kodalöğlü, M., Bedir, F., Kodalöğlü, F., (2023). Design and Manufacturing of Pneu-Mechanic Dobby Machinery, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(3), 880-885.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

M. Kodalöğlü, 0000-0001-6644-8068
F. Bedir, 0000-0002-9202-3458
F. Kodalöğlü, 0000-0002-7855-8616

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	02.02.2023
Revizyon Tarihi / Revision Date	28.05.2023
Kabul Tarihi / Accepted Date	30.05.2023
Yayın Tarihi / Published Date	28.09.2023

* İlgili yazar / Corresponding author: muratkodaloglu@isparta.edu.tr, +90-246-214-6911

DESIGN AND MANUFACTURING OF PNEU-MECHANIC DOBBY MACHINERY

Murat KODALOĞLU[†], Fevzi BEDİR², Feyza AKARSLAN KODALOĞLU³

¹Isparta University of Applied Sciences, Vocational School of Technical Sciences, Occupational Health and Safety Program, Isparta, Turkey.

²Gebze Technical University Engineering Faculty, Mechanical Engineering, Kocaeli, Turkey

³Suleyman Demirel University Engineering Faculty, Textile Engineering, Isparta, Turkey.

Highlights

- Drive, selection and motion transmission mechanisms to the frames are important.
- All kinds of complex patterns can be changed on the weaving machine.
- Will be able to manufacture fabrics with minimized tensions in warp threads.

Graphical Abstract

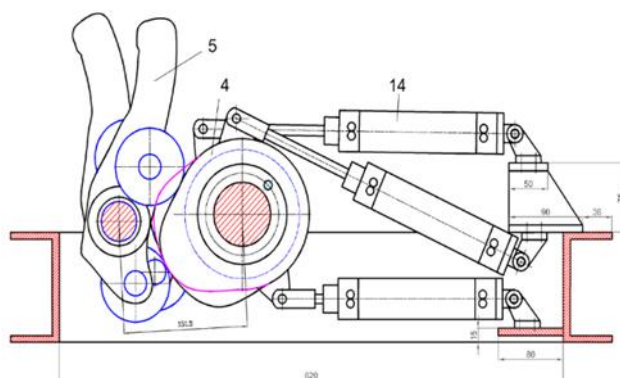


Figure. Technical Drawing of the Dobby

Purpose and Scope

By examining the working principles of dobby shed opening edges used in weaving machines, a new dobby is designed and tested on low cost in weaving machines, easy to manufacture and maintain.

Design/methodology/approach

Aim; is to create a qualified research-purpose pneu-mechanical dobby device, which can be intervened in all parameters, designed and manufactured with completely domestic means. In particular, a system will be developed that can manufacture fabrics with minimized tensions in warp threads. In addition, basic research support infrastructure will be established for the companies that will make dobby devices in our country in the future.

Findings

The cam, pneumatic system, engines, frames used in the dobby have been produced to have the qualities required by the design. The formation of the moving cam levers and blades in the dobby body was designed in a unique way by examining the related studies. A unique mechanical pattern system has been developed that can control the woven fabric manufacturing processes with the desired quality and precision.

Originality

In particular, a system has been developed that can manufacture fabrics with minimized tensions in warp threads. Instead of the machines imported by paying a high price, it has been possible to manufacture national pneumatic dobby with higher quality and lower cost. The design and manufacture of the mechanism belongs to Murat Kodaloğlu *et al.*

[†] Corresponding author: muratkodaloglu@isparta.edu.tr, +90-246-214-6911

1. Introduction

Design Parameters For the design of the new pneu-mechanical dobby to be developed in the study, first of all, the analysis and calculations of the parameters affecting the design were made. The main parameters used in the design of shedding mechanisms used in weaving looms; the number of frames, the distance between the frames, the width of the shed, the shed angle, the displacement height of the frames and the tension forces of the warp threads during weaving. The number of frames is determined according to the type of fabric to be woven on the weaving looms (Abdulla, 2001, 2002, 2006).

After the theoretical investigation of the design parameters, the design processes of the pneu-mechanical dobby were started (Marks, 1976). In this study, the feasibility of a new dobby design that can oscillate the main shaft in the dobby mechanism, thus simplifying the mechanism significantly, using standard machine elements and bearings, and applying this principle has been demonstrated (Eren, 2000, 2005, 2008).

A qualified research purpose pneu-mechanical dobby has been created, which can be intervened in all its parameters and is designed and manufactured with completely domestic means (Adanur, 2001, 2020). In particular, a system has been developed that can manufacture fabrics with minimized tensions in warp threads (Fimtextile, 2018). In addition, it has established a basic research support infrastructure for companies that will make dobby devices in our country in the future (Hasçelik, 2008). Instead of the machines imported by paying a high price, it has been possible to manufacture national pneumatic dobby with higher quality and lower cost (Gandhi, 2020). A unique mechanical pattern system has been developed that can control the woven fabric manufacturing processes with the desired quality and precision (Djuraev, 2020, 2021).

2. Material and Method

2.1. Design Of Dobby Construction

Based on the analysis and synthesis results of the mechanisms that make up the dobby, the construction design of the dobby was carried out. Accordingly, cam mechanism and pneumatic pistons are used in the selection mechanism providing oscillating motion in the driving mechanism of the dobby. In addition, three selection mechanisms were used in the design and each selection mechanism was envisaged to control 7 frames. Thus, the dobby is designed as a pneu-mechanical dobby with a 21 frame capacity and an open shedding. Below is the technical drawing showing the construction of the dobby. Figure 1 shows the front view of the dobby and the cross-sectional view of the main shaft (Kodaloglu, 2019).

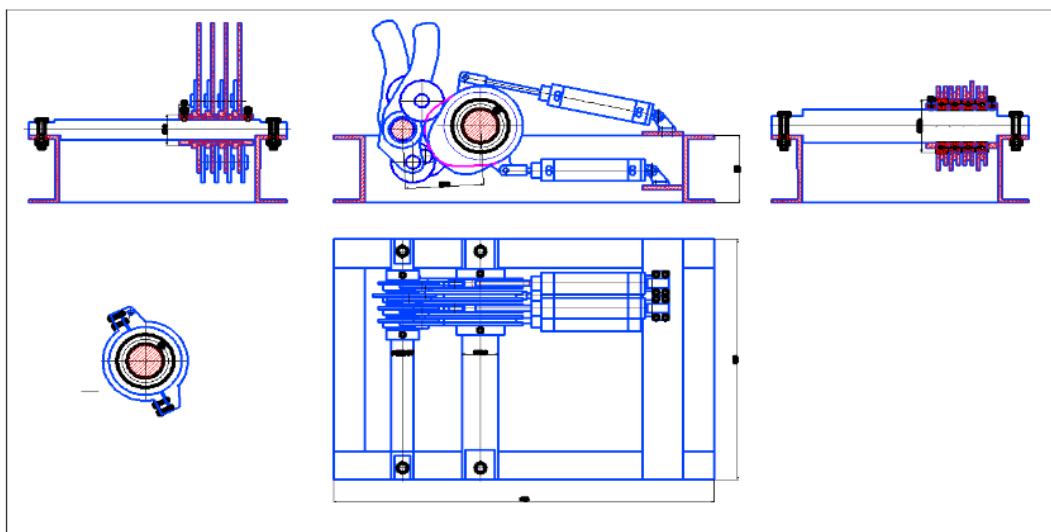


Figure 1. General View Technical Drawing of the Pneu-mechanical Dobby

First of all, the main body of the newly developed dobby was designed and produced. The main body of the dobby is designed and manufactured in such a way that it can carry all the bearings, bearings, shafts and the dobby drive, selection and motion transmission mechanisms to the frames. The main body is made of durable and light materials against all forces that may occur during assembly and operation of the dobby (Kodaloglu, 2019).

2.2. Positioning The Dobby Selection Mechanism Cams

After the design of the cams, which is the most important element of the selection mechanism, was completed and produced, their fixed assembly was made. The adjustments of the cams have been made precisely by taking into account the waiting angles and times of the drive mechanism. For these adjustments, the cams are manually rotated and positioned at the angles where the main shaft rests, and fixed mounting with clamping screws. Figure 2 shows the assembly status of the cams. After the design of the cams, which is the most important element of the selection mechanism, was completed and produced, their fixed assembly was made. The adjustments of the cams have been made precisely by taking into account the waiting angles and times of the drive mechanism. For these adjustments, the cams are manually rotated and positioned at the angles where the main shaft rests, and fixed mounting with clamping screws. Figure 3 shows the mounting status of the cams (Kodaloglu, 2019).



Figure 2. Fixed Shedding Status of Cams

The cam located on the shaft in the mechanism body is designed. Although the mechanism was designed to accommodate twelve cams, only 3 cams were placed and three of them were connected to the pneumatic piston in order to ensure the adequacy of the project support. The placement of the cam and pistons in the mechanism is designed in such a way that they do not oppose each other and prevent the operation.

The duty of the pneumatic piston on the dobbie is to move the cam body to which it is attached along the shaft axis. The pneumatic piston provides the movement of the cam to which it is connected by the air coming from the valve. In order to facilitate the movement of the cam, the pneumatic cylinder is mounted on the cam mechanism body. Figure 3. shows the pneumatic pistons and their mounting situations (Kodaloglu, 2019).

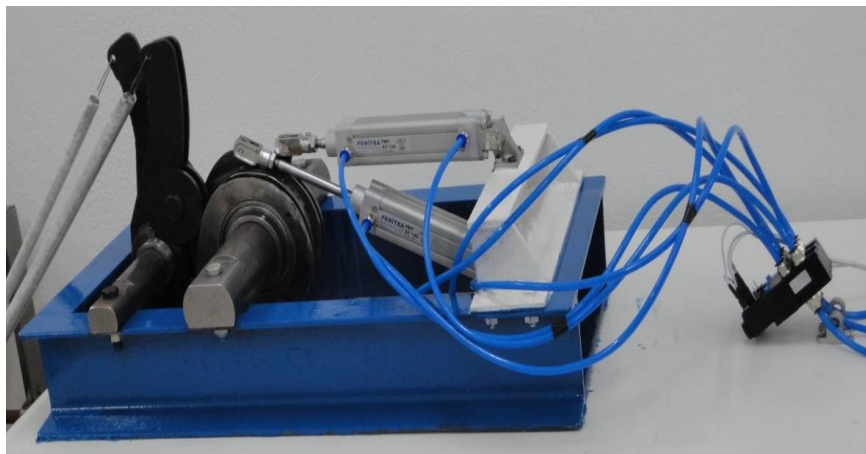


Figure 3. Installation Status of the Dobby

The pattern wheel is a mechanism on which insulating bands (regions) are placed according to the pattern to be woven, its circumference is divided into 16 equal parts, and it receives the rotational movement by means of a belt.

While the dobby pattern wheel is rotating, the wire system in contact with the wheel generates electrical signals for the operation of the pneumatic pistons and electronic valves when it comes into contact with a region outside the insulated areas placed on the pattern wheel according to the dobby pattern plan. There is 12 volt electrical energy in the pattern wheel. After the fixed assembly of the program reading unit, the automatic operation of the selection levers was observed (Kodaloglu, 2019).

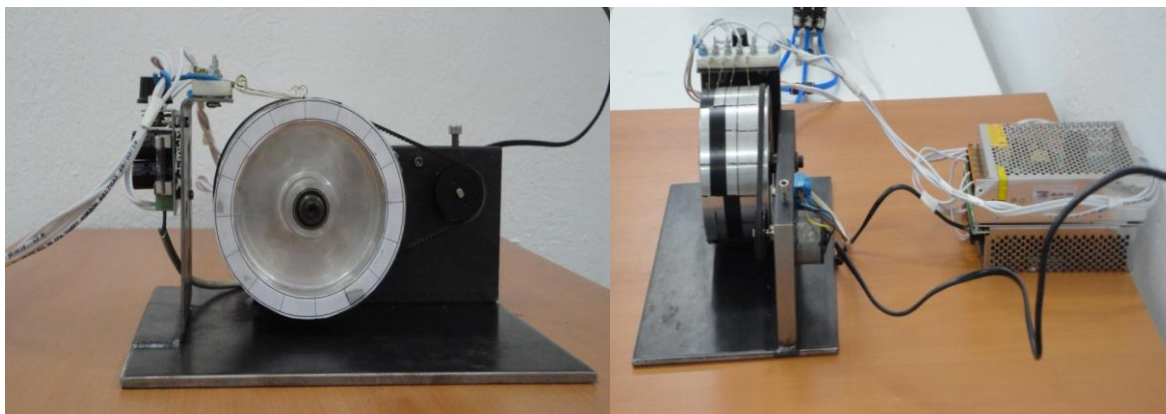


Figure 4. Programming Disk (Pattern Wheel) Fixed Shedding Status

It may be desirable for the knitting pattern to be large and complex, or for the pattern to be woven to be changed frequently. Since cam shedding mechanisms cannot meet these conditions, a programmable shedding mechanism was needed. The structure of pneu-mechanical dobby shedding mechanisms is as simple as cam mechanisms, and the patterning capacity is higher. The general view of the experimental set is given in Figure 5 (Kodaloglu, 2019).



Figure 5. The Experimental Set

3. Results and Discussion

A dobby consists of a combination of three mechanisms. This system; are the drivetrains of motion to the drive, pick and frames. In the proposed system, there is no drive mechanism and gears, chain or belt mechanisms that transmit motion from the main shaft to the dobby. Rotary dobbies consume a lot of energy to overcome the warp tension, frame weight and traction of the springs. In addition, due to the fatigue of the return springs in the system over time, the springs do not lower the frames to the lowest position during the opening of the nozzle, causing uneven nozzles to open. In addition to these disadvantages, due to both the weight of the frames and the spring assemblies, the speed of the weaving machines with this dobby must be low and the fabrics produced must be of medium or lightweight. For these reasons, a new pneu-mechanical dobby construction has been developed for both lifting and lowering of the frames. Warp tensions were measured at 5, 10, 15, 20 bar pressure values. The tension values taken over the warp yarns were determined as the maximum warp tension of 47 cN under 5 bar pressure, the initial tension of weaving (minimum tension) as 21 cN, 53 cN under 20 bar pressure, and 23 cN of weaving initial tension (minimum tension). The average warp tension during the weaving process was 34.6 cN.

The cam follower is placed on the cam that moves in the axial direction of the cam. The cam followers are connected to the mechanism body by a shaft connection. It is designed to provide the movements of the follower frames in the up and down positions, which are in contact with the cam driven by the pneumatic piston.

4. Conclusions and Recommendations

It has been determined that the pneumatic pistons and the air delivery time are suitable for the nozzle opening process in the new construction and there is no reason for the mechanism to not work. Within the scope of this study, which allows the medium and low speed weaving looms used in today's market to be reused in the textile industry, the fact that old looms can be revised and a great saving will be achieved for the sector emerges.

In the selection mechanism of the developed dobbie, the program reading unit consists of a mechanical pattern wheel working with electrical signals, specially designed cams for timely operation, and pneumatic pistons that help the cams to be pushed and held according to the signals coming from the program reading unit. Because of these mechanisms, the selection mechanism of the pneu-mechanical dobbie developed in this study differs from the classical dobbies with electromagnets and electronically operating.

As a result of the study, the dobbie machine produced and the dobbie machines in the market were compared, and their compatibility with the literature and their different points were determined. Better mechanical and design properties were obtained than the literature values, thus bringing new and original values to the literature. Another unique aspect of the study is that the experimental model was created and compared with the theoretical models in the literature. This result enabled the determination of the most suitable dobbie parameters realistically, and warp yarn breaks in the final product could be prevented. Warp tensions were measured at 5, 10, 15, 20 bar pressure values. The tension values taken over the warp yarns were determined as the maximum warp tension of 47 cN under 5 bar pressure, the initial tension of weaving (minimum tension) as 21 cN, 53 cN under 20 bar pressure, and 23 cN of weaving initial tension (minimum tension). The average warp tension during the weaving process was 34.6 cN. With this study, a qualified dobbie was designed and manufactured for research purposes in our country. With this device, researchers across our country will trigger new and productive projects in areas such as product development, material development, parameter optimization, development of weaving technology, flexible control of strategy, technology development, especially in the field of textiles. Dobbie devices imported from abroad at very high prices are used in a limited number of universities and research centers in our country.

Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

References

- Abdulla, G., 2006. Dokuma Makinelerinde Ağzılık Açma Mekanizmalarının Araştırılması ve Modernizasyonu. DPT Projesi, 2003K120950, 138s. Ankara
- Abdulla, G., Palamutçu, S., 2006. RA - 14 Rotatif Armürünün Programlama Kilit Sisteminin Konstrüksiyonunun Sentezi ve Hesabı. 2. Tekstil Teknolojileri ve Tekstil Makinaları Kongresi, s.85-89. İstanbul.
- Abdulla, G., 2002. Dokuma Makinesi için Yüksek Hızlı Armür Dizaynı. TÜBİTAK Projesi, İSAG-139, 87s. Ankara
- Abdulla, G., Haşçelik, B., Soydan, A.S., 2001. Yeni Bir Armür Konstrüksiyonunun Analizi ve Deneysel Çalışmaları. Makine Tasarım ve İmalat Teknolojileri Kongresi. s. 119-124. Konya.
- Adanur, S., 2020. Handbook of Weaving. CRC press.
- Adanur, S., 2001. Handbook of Weaving Technomic Publishing Company. 429p. USA.
- Djuraev, A., 2021. Development of the Design And Justification of The Parameters of The Guide Rapier of The Weaving Machine. Journal of Physics: Conference Series. Vol. 2094. No. 4. IOP Publishing.
- Djurayev, A., Madrakhimov, Sh., Mavlyanov, A P., and Urinova, S., 2020. Delopment and Substantiation of the Parametr of the Battery Mechanisms with Elastic Elements of the Weaving Machines, International Journal of Recent Technology and Engineering, 9(3) 3343-8.
- Eren, R., Özkan, G., Turhan, Y., 2008. Kinematics of Rotary Dobbie and Analysis of Heald Frame Motion in Weaving Process. Textile Research Journal, 78:1070-1079
- Eren, R., Özkan, G., Karahan, M., 2005. Comparison of Heald Frame Motion Generated by Rotary Dobbie, Crank and Cam Shedding Motions. Fibres and Textiles, Vol. 13, Issue 52, Pages 78-83.
- Eren, R., 2000. Armürlü Ağzılık Açma Mekanizmaları. Tekstil Maraton Dergisi, 5:46-55.
- Fimtextile Firması, 2018. Armür Makineleri Ürün Katalogları.
- Gandhi, K. L., 2020. The Fundamentals of Weaving Technology. Woven textiles. Woodhead Publishing, 167-270.
- Haşçelik, B., 2008. Beklemeli Salınım Hareketli Rotatif Armür Makinesinin Kinematik ve Dinamik Analizi, Pamukkale Üniversitesi, Yüksek Lisans tezi, 114s. Denizli.
- Kodaloğlu, M., 2019. Pnö-mekanik Armür Makinesinin Tasarım ve İmalatı. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 124s.
- Marks, R., 1976. Principles of Weaving. The Textile Institute, 248p. Manchester.



RİSK TAKİBİNDE WEB TABANLI HARİTALARIN KULLANILMASI: KORONA VİRÜS WEB HARİTASI ÖRNEĞİ

Bilal ER^{1*}, Lütfiye KUŞAK²

¹ Mersin Yusuf Kalkavan Anadolu Lisesi, Mersin, Türkiye

² Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Mersin, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Korona Virüs, WEB Tabanlı Haritalama, Açık Kaynak, PHP, JavaScript.</i>	Artan internet kullanımı ile web sayfaları kullanılarak kayıt altına alınan ve işlenen bilgiye erişim isteği de paralel gelişme göstermektedir. Web sayfalarında mekânsal olmayan bilginin yanı sıra mekâna bağlı olarak sunulan bilgilerin de sunumu yapılmaktadır. Web teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte, web haritalarının işlevlerinde ve yayınlanmasında artış meydana gelmektedir. Risk ve risk durumunun takibinde haritaların kullanımı oldukça yaygındır. Günümüzde özellikle web tabanlı interaktif haritalar sayesinde artık risk takipleri çok daha kolay ve anlık yapılabilmektedir. Bu çalışmada Korona virüs pandemisinin mekânsal dağılımına ilişkin örnek bir web haritası tasarlanmıştır. Web haritasının hazırlanmasında açık kaynak kodlu yazılımların kullanılması amaçlanmıştır. Çalışmada PostgreSQL (POSTGIS uzantısı) veri tabanı verilerinin PHP bağlantısı, Laravel framework ile sağlanmıştır. Harita uygulamasının kullanıcı arayüzü ise JavaScript Leaflet Kütüphanesi kullanılarak tasarlanmıştır. Açık kaynak JavaScript Chart Kütüphanesi, Korona virüs bilgilerinin günlük dağılımın grafiksel gösterimi için kullanılmıştır. Web tabanlı haritaların oluşturulmasından yayın sürecine kadar olan her aşama açık kaynak kodlu uygulamalar kullanılarak yapılmış ve incelenmiştir ayrıca çeşitli tarayıcılarda sistem test edilmiştir.

USING WEB BASED MAPS IN RISK MONITORING: COVID-19 WEB MAP EXAMPLE

Keywords	Abstract
<i>Covid-19, WEB-Based Mapping, Open- Source, PHP, JavaScript.</i>	With the increased usage of the internet, so does the desire to access the information stored and processed utilizing web pages. In addition to non-spatial information, information presented dependent on the location is also presented on the web pages. The functions and publication of web maps are becoming more common as web technology advance. The usage of maps is fairly widespread in the risk and risk situation follow-up. Today, risk monitoring is much easier and faster, thanks in part to web-based interactive maps. In this study, a prototype web map of the coronavirus pandemic's spatial spread was created. It is intended that open-source software be used to create the web map. The Laravel framework is used in the study to connect to a PostgreSQL (PostGIS extension) database. The map application's user interface is created with the JavaScript Leaflet library. A graphical representation of the daily distribution of coronavirus information is created using the open-source JavaScript Chart package. Every stage of the process, from the creation of web-based maps through the publishing process, was created and analyzed using open-source applications, and its appearance in various browsers was tested.

Alıntı / Cite

Er, B., Kuşak, L., (2023). Risk Takibinde Web Tabanlı Haritaların Kullanılması: COVID-19 Web Haritası Örneği, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(3), 886-903.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

B. Er, 0000-0002-8278-1749

L. Kuşak, 0000-0002-7265-245X

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date 31.01.2023

Revizyon Tarihi / Revision Date 15.04.2023

Kabul Tarihi / Accepted Date 24.04.2023

Yayın Tarihi / Published Date 28.09.2023

* İlgili yazar / Corresponding author: bbilalerr@gmail.com, +90-530-327-9995

USING WEB BASED MAPS IN RISK MONITORİNG: COVID-19 WEB MAP EXAMPLE

Bilal ER^{1†}, Lütfiye KUŞAK ²,

¹Mersin Yusuf Kalkavan Anatolian High School, Mersin, Türkiye

²Mersin University, Faculty of Engineering, Department of Geomatics Engineering, Mersin, Türkiye

Highlights

- Web-based maps and system design presentations are described.
- Examples of COVID-19 risk assessment, tracking, monitoring, and analysis are provided using web-based map apps.
- The spatial distribution of high-risk diseases like COVID-19 is shown.

Graphical Abstract

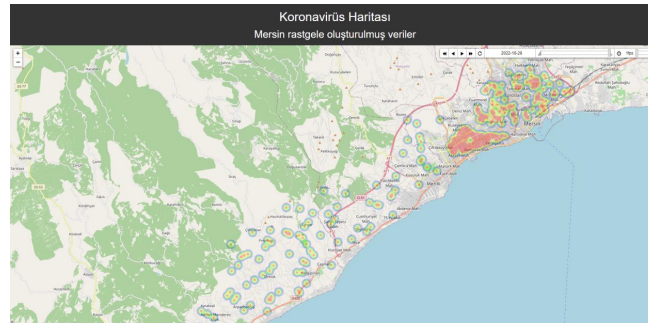


Figure. Coroavirus Heat Map (Generated Using Fictitious Data)

Purpose and Scope

The goal of this research is to create a web-based map application using open libraries for monitoring the COVID-19 pandemic using examples from around the world and Mersin.

Design/methodology/approach

The work was developed completely with free tools and materials. Its goal is to create a user-friendly, sustainable application. Furthermore, thematic mapping and heat map methodologies were preferred for data visualization. These technologies can provide non-experts and decision makers with simple visual communication.

Findings

According to the study and past applications, investigations using web-based maps will produce extremely good results in the monitoring, and management of pandemics and other risk scenarios.

Instead of maintaining the data in tabular form, monitoring and visually showing its spatial distribution based on location would be helpful in future decision-making.

Furthermore, the fact that the deployed system is free of charge will be a viable alternative, especially for decision-makers with limited financial resources.

Research limitations/implications

Because there was no data for Mersin, fictitious data had to be produced to prove the regional application of the application. Because the application is designed to be sustainable, it can be used with real data in future investigations.

Practical implications

The study is usable and serviceable in its present form.

Social Implications

[†] Corresponding author: bbilalerr@gmail.com, +90-530-327-9995

Many research have been conducted to track and monitor the COVID-19 pandemic, which arose in the late months of 2019 and has been keeping our attention for the past two years. This study, unlike the others, can be used by non-experts due to its low cost, simple interface, and widespread application. Because of its scalable nature and adaptable infrastructure, it can accommodate a wide range of extra visualizations and analyses.

Originality

The entire study has been prepared with free open software and library support. In addition, it works in all web browsers and mobile systems without the need for any additional editing.

1. Giriş (Introduction)

Şiddetli akut solunum sendromu özelliğine sahip bulaşıcı bir hastalık olan korona virüs hastalığı (COVID-19) (SARS-CoV-2) 2019 yılının son aylarında ile olarak Çin'in Wuhan şehrinde görülmüştür. 2020 yılının ocak ayında yaygınlığı giderek artmıştır. Kısa zamanda Avrupa, Kuzey Amerika ve Asya-Pasifik ülkelerinde virüs kaynaklı hasta sayısında artışlar gözlenmiştir. 11 Mart 2020 tarihine gelindiğinde ise, Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) tarafından hastalık pandemi olarak ilan edilmiştir (BBC, 2022). 11.04.2023 yılı itibarıyla dünya genelinde 685,064,148 vaka, 6,838,185 ölüm gerçekleşmiştir (WHO, 2023). Günümüzde pandemi hızı yavaşlasa da hala devam etmektedir. Türkiye'de 17,232,066 kişi hastalıktan etkilenmiş ve 102,174 kişi korona virüs nedeniyle hayatını kaybetmiştir. İnsandan insana, havada veya yüzeylerde bulunan virüs içeren damlacıkların nefes yoluyla vücuda girmesiyle bulaştığı tespit edilen virüsün yayılma hızının yavaşlatılabilmesi için bütün dünya genelinde insan hareketliliğini azaltıcı birtakım önlemler alınmıştır. Hastalığın yayılma koşulları (Qi vd, 2020) ve nüfus hareketliliği (Jia vd, 2020) üzerine çalışmalar yapılmıştır. İnsan hareketliliğinin tespit edilmesi sayesinde salgının mekânsal dağılımı ve bulaşma riski gibi analizler yapılabilmektedir (Zachreson vd., 2021). Sosyo ekonomik faktörler ve hastalığa yakalanma süreçleri ile ilgili analiz çalışmaları yapılmıştır. Gelir seviyesinin düşmesi ile hastalığın yayılmasının ve bulaşmasının çok daha fazla olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Sugg vd., 2021).

Aralarında Türkiye'nin de bulunduğu birçok ülke insan hareketliliğini azaltmak ve bulaşma hızını kontrol altına alabilmek için, diğer ülkelere sınırlarını kapatmış, uçuşlar yasaklanmış, seyahatler kısıtlanmış veya kontrollü biçimde gerçekleştirilmiştir. Ayrıca kısmi ve tam zamanlı sokağa çıkma yasağı uygulamaları yürürlüğe koyulmuştur. İnsan yoğunluğunun çok olacağı alışveriş merkezleri, toplu taşıma araçları, hastaneler vb. yerlerde sosyal mesafe kurallarına uygun olacak şekilde birtakım düzenlemeler yapılmıştır. Kişisel hijyen kuralları üst seviyeye çıkarılmış ve maske kullanımı zorunlu hale getirilmiştir ayrıca toplu yaşam alanlarının dezenfekte edilmesi sağlanmıştır.

Korona virüs ile insan hareketliliğinin azalması ve insanların dışarı ile iletişiminin sağlanabilmesi, hastalığın takip edilebilmesi için gerek masaüstü web uygulamalarına gerekse web mobil uygulamalarına duyulan ihtiyaçta ortaya çıkmıştır. Bu yansımaları ticaretten, sağlığa pek çok alanda görmek mümkündür. Pandemi döneminde özellikle online alışveriş sistemlerine yoğun ilgi görülmüştür. Eğitim sisteminin asenkron olması sonucunda web tabanlı uygulamaların önemi ve ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Home ofis uygulamaları ve Zoom, Google Meet gibi uygulamalar önem kazanmıştır. Aynı gelişmeler sağlık sektöründe de görülmüştür. Hastalığın yayılım bölgelerini, hızını ve hastalığa yakalanan kişileri takip etmek için web ve mobil birçok uygulama gerçekleştirilmiştir.

Bu tür uygulamalar için veri oldukça önemli bir parametredir. Dünya sağlık örgütü ve ülkeler korona virüs ile ilgili verileri kamuoyuyla paylaşmışlardır. Korona virüs verileri arasında hastalığı yakalanan kişiler, hastalığın sonucun gerçekleşen ölümler, vakaların konumları gibi veriler tutulmaya başlanmıştır.

Hastalıkla ilgili tutulan verilerin anlaşılmasını kolaylaştırmak için veriler görselleştirmiştir. Görselleştirilme araçları olarak sıklıkla haritalara, grafiklere ve tablolara başvurulmuştur. Kullanılan görselleştirme türlerinin kullanıcılara daha etkin bir şekilde sunulması ve anlaşılabilirliğini arttırmak amacıyla farklı tasarımlar ortaya koyulmuştur.

Korona virüs pandemisi ile Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) tabanlı uygulamalar oldukça yaygınlaşmıştır. Pazar araştırma şirketlerinden birisi olan Maximize'a tarafından COVID-19 pandemisinin etkisi gözetilerek yapılan araştırma sonuçlarına göre küresel CBS pazarı 2020 yılında 8.10 milyar dolardan 2027 yılında 18.47 milyar dolar kadar çıkacaktır. Diğer bilgi sistemlerinden farklı olarak konum bilgisi ile tablo verilerinin bir arada saklanmasını, düzenlenmesini, analizini ve sunumunu sağlayan CBS'lerin masaüstü, web tabanlı, mobil birçok örnekleri bulunmaktadır. Web tabanlı haritalama uygulamalarının hazırlanması için ticari ve açık kaynak kodlu hazır kütüphane uygulamaları kullanılmaktadır. Bilgi teknolojilerinde yaşanan gelişmeler ile web tabanlı harita uygulamaları da gelişmiştir. Bu sayede tarım, turizm, sağlık, afet risk takibi ve yönetilmesi gibi birçok alanda kullanımı yaygınlaşmıştır. Geliştirilen web tabanlı harita uygulamaları sayesinde kullanıcıların ve karar vericilerin olayları takibi etmesi, bilgi edinmesi, izlemesi, gerektiğinde müdahale edebilmesi kolaylaşmıştır.

Bu çalışmada dünya ve Mersin örnekleri ile korona virüs pandemisinin izlenmesini sağlamak için açık kütüphaneler yardımıyla web tabanlı harita uygulaması yapılmıştır. Giriş bölümünde korona virüs pandemisi ve etkileri, uygulamalar hakkında genel bilgi verilmiştir. Çalışmanın ikinci bölümünde korona virüs pandemisinin takibi, analizi ve sunumu için hazırlanan web tabanlı harita uygulama çalışmaları ve kullandıkları sistemler incelenmiştir. Materyal ve metot bölümünü oluşturan üçüncü bölümde sunulan uygulamanın sistem tasarımı ve kullanılan teknolojiler hakkında bilgi verilmiştir. Dördüncü bölüm olan sonuç ve öneriler kısmında uygulama sonuçlarının görsel sonuçları sunulmuş ve ilgili çalışmalar ile değerlendirmesi yapılmıştır. En sonuncu bölüm olan öneriler kısmında ise çalışmanın önemine vurgu yapılmış ve gelecekte yapılabilecekler hakkında bilgi verilmiştir.

2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

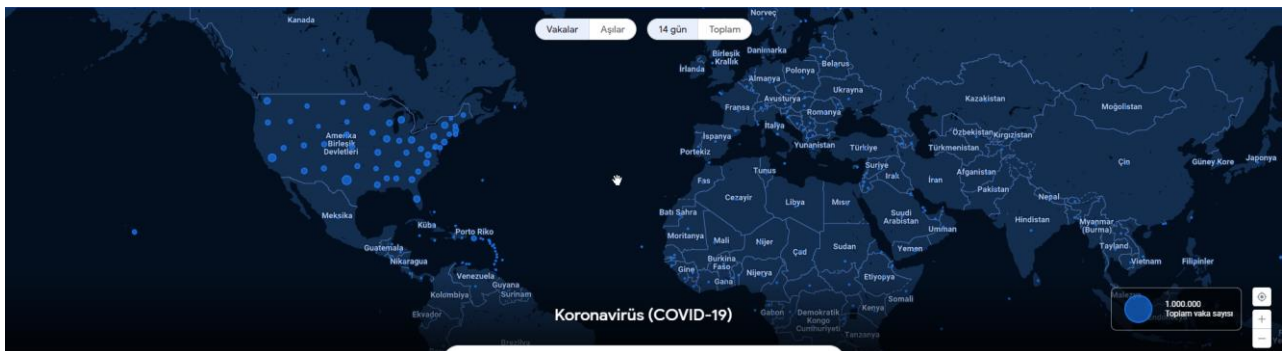
Yapılan araştırmalar ve incelemeler korona virüsün yarattığı sosyal medya paniğinin, virüsün kendisinden daha hızlı hareket ettiğini ve bununla mücadele etmek için panolar ve gerçek zamanlı web tabanlı haritalar gibi operasyonel araçlara ihtiyacın olduğunu göstermektedir. Özellikle kullanıcıların kolay anlatabileceği tematik haritalar arasında yer alan koroplek haritaların doğru bir şekilde hazırlanması ve sunumu verilerin kolay anlaşılmasını sağlamaktadır (Jurgens, 2020).

İyi tasarlanmış, web tabanlı haritalarla birleştirilen dikkatli coğrafi çalışmaların, gelecekte karşılaşılabileceğimiz diğer pandemilere yönelik yapılması gerekenlere ön hazırlık olabileceği düşünülmektedir. Bu durum web tabanlı haritaların risk durumlarındaki önemini ortaya koymaktadır (Mooney ve Juhász, 2020). Pandemiye ait zaman ve konum bilgilerini gösteren dinamik gerçek zamanlı web haritalarının oluşturulması sayesinde hastalığın yayılma durumu hakkında diğer ülkelere bilgi vermeyi kolaylaştırmıştır (Kent, 2020).

Hastalıktan etkilenen kişilerin konum bilgilerinin kayıt altına alınması ve bu bilgilerin Coğrafi Bilgi bilimlerini içeren sistemlerle sunulması pandemi karantina süreçlerinin daha etkin yönetilmesine destek olacağı çalışmalarda özellikle vurgulanmaktadır (Rosenkrantz vd., 2021).

Korona virüs sürecinin çok daha iyi yönetilebilmesi için How We Feel (HWF) gibi web ve mobil uygulamalar geliştirilerek gönüllü anket çalışmaları yöntemiyle sağlık bilgilerinin yanı sıra demografik veriler de elde edilmiştir. Gönüllü kullanıcıların ankete katılarak bölgelerinde hastalığın yayılımı hakkında bilgiler elde edilmiştir. HWF uygulamasından toplanan bireysel düzeyde verileri kullanarak, semptomların ötesindeki bilgileri dahil etmenin, hasta kişilerin kendi bildirdiği verilerden tespit edilmesi için hayati önem taşıdığını gösterilmiştir. Erken teşhisin korona virüs salgınında önemi anlaşılmıştır. HWF uygulaması ile erken teşhis için çalışmalar yapılabilirliği ortaya konulmuştur (Allen vd., 2020).

Korona virüs pandemisinin takibi ve izlenmesinde dünyada ve Türkiye’de birçok web tabanlı harita uygulamaları yapılmıştır. Bu uygulamalara ait örnekler ve kullandıkları sistemlere bu bölümde yer verilmiştir. Çalışmalarda uygulama ara yüzleri için (API) gerek ticari gerekse açık kütüphanelerin kullanıldığı görülmektedir. Google tarafından oluşturulan çalışmada virüs hasta yoğunluğu daire büyüklükleri kullanılarak gösterilmiştir (Şekil 1). Çalışma ayrıca grafikler ve tablolar ile desteklenmiştir. API olarak Google maps javascript API kullanılmıştır (Google News, 2022).



Şekil 1. Google İnteraktif Korona Virüs Haritası (Google Interactive Coronavirus Map) (Google Coronavirus News, 2023)

Google tarafından sunulan bir diğer çalışmada Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) tarafından desteklenen veriler ile interaktif bir uygulama yapılmıştır. Verilerin sunumu noktasal olarak gösterilmiştir. Verilerin daha anlaşılır olarak sunulabilmesi için kullanıcıya veriler üzerinde seçim yapma imkânı sağlanmıştır. Harita uygulama ara yüzü olarak ticari özellikte olan Google javascript kütüphanesi tercih edilmiştir (Google Coronavirus News, 2023).

Dünya sağlık örgütü (DSÖ) tarafından oluşturulan çalışmada ise interaktif korona virüs haritası oluşturulmuştur. Doğrulanmış veriler kullanılmış ve haritada ülke sınırları dikkate alınmıştır (Şekil 2). Vaka, ölüm ve aşılama bilgileri için filtreleme özelliği kullanılarak kullanıcının seçimler yapmasına ve bu sayede bilgiye ulaşmasına izin verilmiştir. Diğer uygulamalardan farklı olarak ara yüz desteğinde Leaflet javascript kütüphanesi kullanılmıştır (WHO Coronavirus (COVID-19) Dashboard, 2023).



Şekil 2. Dünya Sağlık Örgütü İnteraktif Korona Virüs Haritası (World Health Organization Interactive Coronavirus Map) (WHO Coronavirus (COVID-19) Dashboard, 2023)

Johns Hopkins Üniversitesi tarafından oluşturulan korona virüs interaktif haritası tablo, grafikler ve harita panellerinden oluşturulmuştur. Haritada kullanılan vaka ve ölüm sayıları ülkelerin sağladığı teyit edilmiş bilgilerden elde edilmiştir. Ülkelerin verileri paylaşma özelliğine göre bazı ülkelerde veriler tek bir veri olarak bazılarında ise bölge halinde gösterilmiştir. Noktasal veri görselleştirme kullanılmıştır (Şekil 3). Harita uygulama ara yüzü için ticari özelliğe sahip ArcGIS harita javascript kütüphanesi kullanılmıştır (Johns Hopkins University & Medicine, 2023).

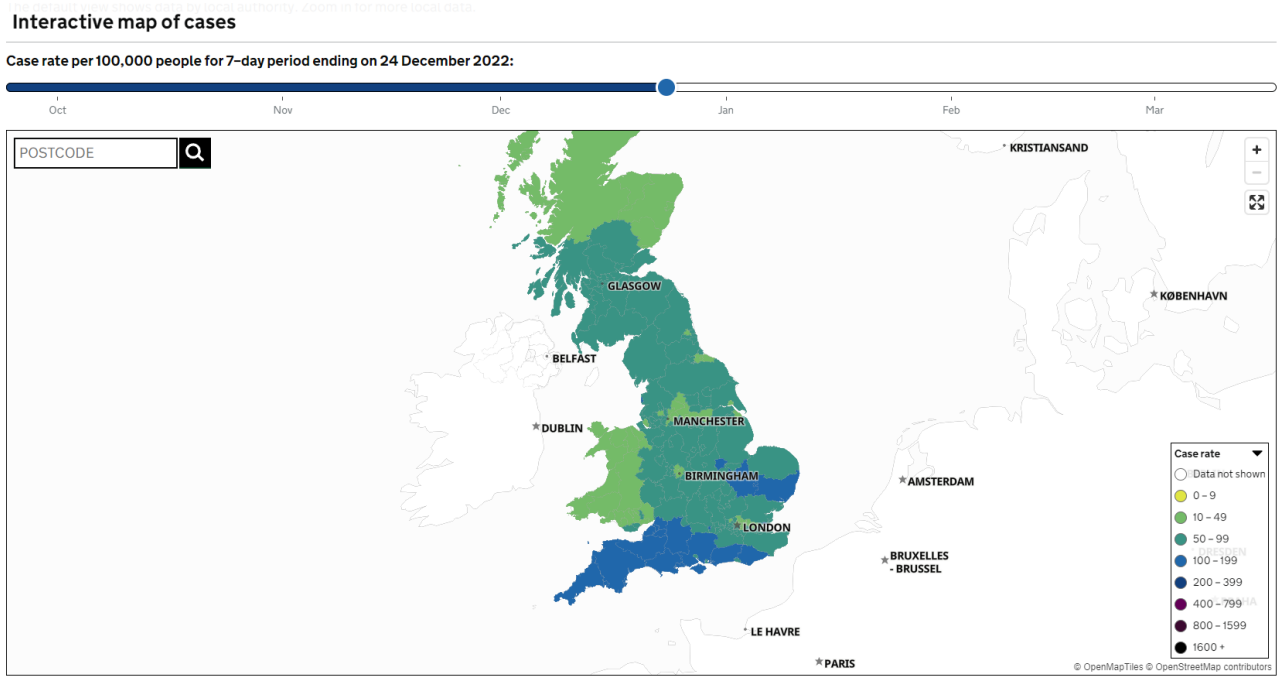


Şekil 3. Johns Hopkins Üniversitesi İnteraktif Korona Virüs Haritası (Johns Hopkins University Interactive Coronavirus Map) (Johns Hopkins University & Medicine, 2023)

Yukarıda örnekleri sunulan dünya genelinde yapılan web tabanlı korona virüs pandemisinin takibi için geliştirilen uygulamaların yanı sıra daha küçük ölçekli ülkelerin kendi bölgelerinde hastalık yayılımını takip etmek için geliştirdikleri çalışmalar da bulunmaktadır.

Birleşik Krallık Sağlık Güvenliği Ajansı tarafından hazırlanan Birleşik Krallık interaktif korona virüs haritasında yukarıda gösterilen uygulamalardan farklı olarak zamansal akış göre hastalığın dağılımını izlemek mümkündür. Sunulan çalışmada vaka ve aşılama durumu gözükmemektedir. Gösterimde noktasal gösterim yerine bölgesel

gösterim tercih edilmiştir (Şekil 4). Harita uygulama programlama ara yüzü olarak ticari olan Mapbox javascript kütüphanesi kullanılmıştır (UK Health Security Agency, 2023).



Şekil 4. Birleşik Krallık Sağlık Güvenliği Ajansı İnteraktif Korona Virüs Haritası (United Kingdom Health Security Agency Interactive Coronavirus Map) (UK Health Security Agency, 2023)

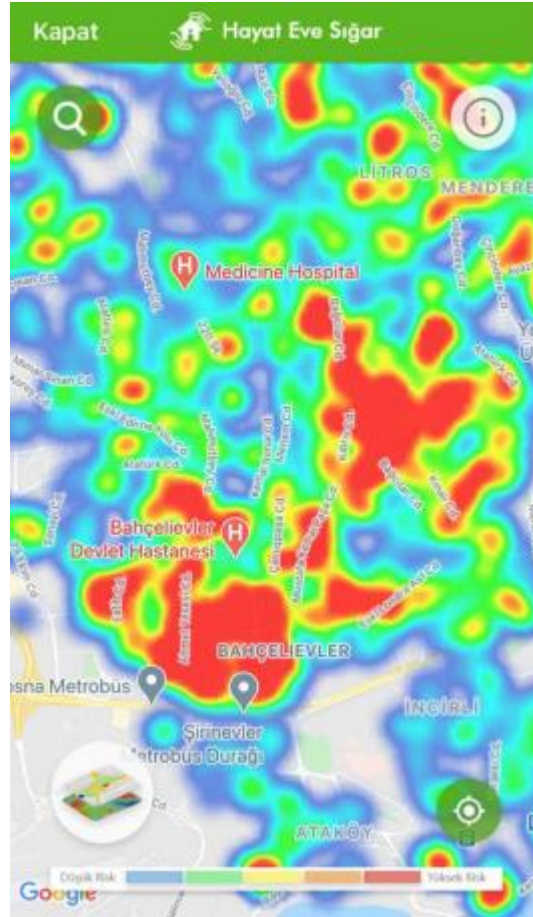
Romanya'daki korona virüs verilerinin görselleştirmesi ile ilgili olarak yapılan çalışmada ise harita gösterimi olarak konumsal değeri olan vaka sayılarının ısı haritası yapılmıştır. API olarak Leaflet javascript kütüphanesi kullanılmıştır (Ionescu ve Enescu, 2020).

İran sağlık yetkilileri tarafından resmi olarak bildirilen 19 Şubat- 9 Mart 2020 tarihleri arasındaki vaka verileri ve korona virüs onaylı enfeksiyonlara (vaka/100.000 nüfus) ilişkin referans nüfus verileri kullanılarak kümülatif insidans oranları tahmin edilmiş ve haritaları yapılmıştır. İran sağlık yetkilileri tarafından resmi olarak bildirilen vaka verilerine (vaka/100.000 nüfus) ilişkin nüfusa oranına göre vaka sayısı belirlenmiştir. Görselleştirme için Kosmo 3.1 CBS yazılımı kullanılmıştır (Arab-Mazar vd., 2020).

Ulusal Bilim Vakfı RAPID programının desteğiyle GeoDS Lab @UW-Madison tarafından farklı ilçe ve eyaletlerdeki insanların sosyal mesafe yönergelerine nasıl tepki verdiğine dair anlık nicel bilgi sağlayan etkileşimli bir web tabanlı haritalama platformu geliştirilmiştir. Geliştirilen Web portalında, coğrafi bilgi sistemleri (GIS) ve Birleşik Krallık 'ta ilçe düzeyinde büyük ölçekli anonimleştirilmiş ve birleştirilmiş akıllı telefon konumlarına ait büyük verilerden (Big Data) elde edilen ve günlük olarak güncellenen insan hareketliliği istatistiksel modelleri oluşturulmuştur. Bu modellerde ortalama seyahat mesafesi ve evde kalma süresi dikkate alınmıştır. Bu sayede Birleşik Krallıkta ve kamuoyunun risk bilincinin artırılması hedeflenmiştir (Gao vd., 2020).

Korona virüs pandemisi ile mücadelede coğrafi bilgi teknolojilerinin kullanımının önemine odaklanıyor. Çalışmada, Korona virüs pandemisi ile mücadelede kullanılan "Korona virüs Küresel Takip Paneli" uygulamasının özellikleri arasında haritalama için Esri javascript harita apisi kullanılmıştır. Coğrafi bilgi teknolojilerinin kullanımı ile ilgili örnekler veriliyor. Ayrıca, mekânsal verilerin pandemi ile mücadelede nasıl kullanılabileceği ve mekânsal verilerin filyasyon çalışmalarında nasıl kullanılabileceği açıklanıyor. Çalışmada, Türkiye'nin Mekânsal Adres Kayıt Sistemi (MAKS) projesinin de Covid-19 pandemisi ile mücadelede nasıl kullanılabileceği tartışılıyor (Döker ve Fatih, 2020).

Türkiye Cumhuriyeti Sağlık Bakanlığı tarafından geliştirilen Hayat Eve Sığar (HES) uygulaması web ve mobil ortamlar için tasarlanmıştır. Korona virüs haritasında verilerin sunumunda ısı haritası gösterim özelliği kullanılmıştır. Vakaların yoğunlaştığı yerler ısı haritasında kırmızı renk ile yoğunluğun az olduğu bölgelerde ise mavi renk ile vurgulanmıştır. Uygulama diğerlerinden farklı olarak interaktif konum tabanlı çalışmakta ve kullanıcının izin verdiği ölçüde temaslı ve eğer program mobil cihazda yüklü ve açık ise virüs taşıyan yakınızdaki kişileri de göstermektedir izin verdiğiniz ölçüde temas ettiğiniz kişileri de göstermektedir (Şekil 5) (Hayat Eve Sığar, 2023).



Şekil 5. Türkiye Cumhuriyeti Hayat Eve Sığar Uygulamasındaki Korona Virüs Haritası (COVID-19 Map in the Republic of Türkiye's Hayat Eve Sığar Application) (Hayat Eve Sığar, 2023)

3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

3.1. Web Tabanlı Sistemler (Web-Based Systems)

3.1.1. İnternet ve Web (Internet and Web)

Günümüz bilişim toplumunda internet sadece bilgisayarlara değil; cep telefonu, tablet, araba, televizyon, klima gibi birçok alana bağlanmaktadır. İnternet Dünya genelinde bilgisayar ağlarını birbirine bağlayan, bazen “ağların ağı” diye anılan adeta “sınırsız” bir bilgisayar ağıdır. 1973 yılında ABD Savunma Bakanlığının, çeşitli bilgisayar ağlarını birbirine bağlanması projesi çalışmalarından doğmuştur (Cömert ve Bostancı, 1999). Günümüzde ise internetin ulaştığı nokta nesnelerin interneti (Internet of Things, kısaca IoT) kavramını ortaya koymaktadır. Nesnelerin internetini fiziksel ve sanal şeyleri/nesneleri birbirine bağlayarak ileri düzeyde hizmetleri mümkün kılan altyapı olarak tanımlamak mümkündür (ITU, 2020).

Web, İnternet ile sağlanan iletişim şekillerinden yalnızca birisidir. Web sayfaları İnternet üzerinde yayınlanan birbirleriyle bağlantılı hiper-metin belgelerinden oluşan bir bilgi sistemidir. İlk olarak araştırma amaçlı geliştirilen World Wide Web, daha sonra herkes tarafından kullanılabilen hızlı ve ucuz bilgi alışverişini sağlayan bir karakter haline gelmiştir (Iosifescu Enescu, 2011). Tim Berners-Lee, 1989, ilk web sayfası editörü (tarayıcısı) olan WorldWideWeb'i yazmış ve ilk web sunucusunu oluşturmuştur. 1990 yılının sonuna gelindiğinde Tim, ilk web sayfasını oluşturarak istemci-sunucu iletişimini gerçekleştirmiştir (Şahin vd., 2013).

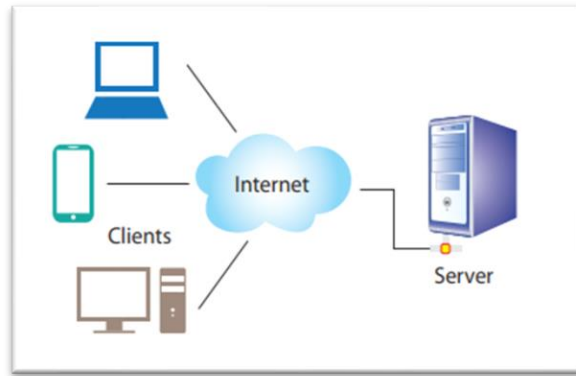
Web'e bağlı her bir kaynağı tanımlamak URL (Uniform Resource Locator) adı verilen benzersiz adres yapıları kullanılmaktadır. Web nesnesini bulmak için Web istemcisinin ihtiyacı olan erişim yöntemini (nasıl) ve sunucu ismini (ne) belirtir. URL'nin genel yapısı: erişim- yöntemi://sunucu-ismi [: port] / şeklindedir. Web genelindeki bağlı kaynakların bulunup getirilmesine izin veren bir iletişim protokolü olarak Hiper metin Transfer Protokolü (Hypertext Transfer Protocol – HTTP) kullanılmaktadır. Hiper metin İşaretleme Dili (Hypertext Markup Language – HTML) ise web için bir işaretleme dilidir. Web, URL ile birbirine bağlantılı olan kaynakların (sayfalar, resimler, videolar vb.) oluşturduğu siteler veya sayfalar için gerekli altyapı mekanizmasını sağlar. Web sunucuları

üzerindeki HTML dosyaları sabit sayfalara örnek olarak gösterilebilirken, kaynak çağırıldığı anda oluşturulan hava durumu, trafik durumu, haberler gibi içerikler ise dinamik Web kaynakları olarak nitelendirilmektedirler (Cömert ve Akıncı, 2004).

3.1.2. İstemci-Sunucu Mimarisi (Client-Server Architecture)

Gerek web sayfalarının tarayıcıda aranması ile ilgili işlemlerde gerekse web tabanlı haritaların sunumunda ve kullanıcıya ulaştırılmasında istemci-sunucu mimarisi genellikle tercih edilmektedir.

İstemci (Client) bir ağ üzerinden Sunucu (Server) bilgisayardan hizmet alan kullanıcı bilgisayardır. Sunucu (Server) ağa bağlı İstemci (Client) tarafından yapılan isteklere cevap veren sistemlerdir. Sunucu- İstemci (server-client) modeli (Şekil 6) günümüzde istek-cevap (request-response) kuralına göre çalışmaktadır. İstemci sunucuya bir istek gönderir ve sunucu istemciye bir cevapta bulunur. Bir sunucuya aynı anda birden fazla istemci bağlanabildiği gibi bir istemci aynı anda birden fazla sunucuya da bağlanabilir (Usta ve Kiray, 2018).



Şekil 6. İstemci Sunucu Mimarisi (Client-Server Architecture) (Usta ve Kiray, 2018)

3.2. Web Tabanlı Haritaların Sistem Yapıları (System Architectures of Web-Based Maps)

Çalışmanın bu bölümünde web tabanlı haritaların hazırlanmasında kullanılan sistemler ve özellikleri hakkında temel bilgiler verilecektir. İstemci ve sunucu mimarisi içerisindeki İstemci (Clients) tarafında çalışan yazılımlar Ön Yüz (Frontend) olarak nitelendirilebilir. Sunucu (Server) tarafında çalışan yazılımlar ise Arka Yüz (Backend) olarak nitelendirilir.

3.2.1.Ön Uç (Frontend)

Çalışmada ön uç kısmında HTML5, CSS3, Javascript yazılım dillerinden ve JQuery, Leaflet, Bootstrap, Chart kütüphane ve frameworklerden faydalanılmıştır. Bu bölümde kısaca adı geçen diller ve kütüphaneler hakkında bilgi verilmiştir.

Web tabanlı bir harita uygulaması tasarlanırken istemci tarafı yazılımlar ile sunucu tarafı yazılımlar kullanılabilir. Uygulamanın çeşitliliğine bağlı olarak yalnızca istemci tarafı yazılımlar kullanılarak ta uygulama oluşturulabilir. Web sayfaları için kullanılan Hiper Metin İşaretleme Dili (Hyper Text Markup Language) (HTML) işlemci tarafı betik programla dildir. Yeni versiyonu HTML5'in, W3C (World Wide Consortium) tarafından standartları oluşturulmuş ve 2012 yılından itibaren kullanıma başlanmıştır (Tokak, 2015). Web tarayıcıları da güncellemelerle beraber HTML5 özelliklerini desteklemiştir. Html etiketleri arasında kalan kısımlar diğer etiketleri sarmalarken, Head kısmı hazırlanan web sayfası için bilgi ve tanımlamaların yer aldığı, Body ise ziyaretçilerin görebildiği, web sayfası ile ilgili tüm içeriğin yer aldığı kısımdır.

Basamaklı Stil Sayfası (Cascading Style Sheets) (CSS); renkler, düzen ve yazı tipleri dahil olmak üzere web sayfalarının sunumunu tanımlayan bir dildir. Web sayfalarının büyük ekranlar, küçük ekranlar veya yazıcılar gibi farklı cihaz türlerine uyarlanmasına olanak tanır. CSS, HTML'den bağımsızdır ve herhangi bir XML tabanlı biçimlendirme dili ile kullanılabilir. HTML'nin CSS'den ayrılması, stil sayfalarını, sayfalar arasında aynı kodu kullanmayı ve sayfaları farklı ortamlara uyarlamayı kolaylaştırır (Tokak, 2015). CSS3 2007 yılından sonra hayatımıza girmeye başlamıştır. CSS kodları öncelikleri değişmekle birlikte üç şekilde gösterilebilir. HTML etiketleri arasında, head bölümüne style tagları arasına yazılarak ve CSS kodlarını html sayfasına link vererek head etiketinin arasına eklenebilir. Link verilerek sayfaya CSS tanıtmanın amacı her sayfa için ayrı ayrı CSS kodları yazılmasını engellemektir.

JavaScript Nesne Gösterimi (JavaScript Object Notation) (JSON) nesne-readabletext'i kullanan, aynı zamanda öznitelik değeri (veya değer dizileri) çiftlerinden oluşan veri nesnelerini iletmek için makine tarafından okunabilen, kodlama kullanan açık bir standart biçimdir. Veri depolamak ve istemci sunucu arasındaki veri alışverişini sağlamak için kullanılan bir sözdizimidir. JavaScript nesne gösterimi ile yazılmış bir metindir. JSON metin formatındadır. "JSON.stringify()" komutu ile JavaScript nesnesini, JSON dönüştürüp sunucuya gönderilebilir. Sunucudan gelen JSON verisi ise "JSON.parse()" komutu ile JavaScript nesnesine dönüştürülebilir (Json, 2022). jQuery, "daha az yaz, daha çok yap" mantığında tasarlanmıştır. jQuery, John Resig tarafından 2006 yılında geliştirilmiş ve şu an geniş bir jQuery ekibi tarafından gelişimi sürdürülen bir açık kaynak JavaScript kütüphanesidir. HTML / DOM işleme, CSS manipülasyonu, HTML olay yöntemleri, Efektler ve animasyonlar, AJAX, araçlar ilgili işlemler jQuery kütüphanesi tarafından yapılabilmektedir (Boduch vd., 2017).

3.2.2. Arka Uç (Backend)

Yapılan çalışmanın arka uç kısmında ise PHP ve Laravel kullanılmıştır. Sırasıyla kullanılan bu yapılar hakkında kısaca bilgi verilmiştir.

PHP, internette kullanıcı oylamaları ile yapılan sonuçlara göre %78 ile en çok kullanılan sunucu tarafı web teknolojisi. Açık kaynak kodlu olması, performans olarak cazibesi ve C'ye benzeyen sözdizimi sayesinde birçok geliştirici tarafından tercih edilmektedir (W3techs, 2020). PHP ile sunucu üzerinde dosya oluşturabilir, açabilir, okuyabilir, yazabilir, silebilir ve kapatabilir. Form verilerini toplar, veri tabanında bulunan verileri ekleyebilir, değiştirebilir ve silebilir. Kullanıcı erişimlerini kontrol etmek ve verileri şifrelemede kullanılır. JavaScript'te olduğu gibi PH ile de dinamik içerikler üretilebilir (Teker, 2017). Body taglarının içerisine tanımlanmaktadır.

Laravel, Taylor Otwell tarafından CodeIgniter adlı eski PHP çerçevesinin yerine mükemmel bir alternatif olma girişimi olarak geliştirilmiştir (Laravel, 2022). Laravel, web uygulamaları geliştirmek amacıyla kullanılan bir PHP framework'tür. Birçok gelişmiş özelliği bünyesinde barındıran Laravel, PHP ve nesne tabanlı programlamanın (OOP) pek çok faydalı özelliğine sahiptir. Geniş bir kitle tarafından kullanılmakta olan Laravel "Web Sanatçılarının PHP Frameworkü" sloganını benimsemektedir. Küçük ölçekli bireysel bir proje veya büyük ölçekli kurumsal bir uygulama geliştirmesinde Laravel ile kolay ve hızlı bir şekilde tasarım yapılabilmektedir. Model Control View (MVC) yapısı sadece Laravel'de değil birçok farklı dil veya framework tarafından uzun yıllardır kullanılan bir yapıdır. Laravel MVC ve OOP yani nesne tabanlı programlama yapısı sayesinde PostgreSQL, MySQL, MongoDB, Oracle vb. veri tabanları fark etmeksizin aynı kodları yazma imkânı vermektedir (Laravel, 2022). Laravel Routing (Yönlendirme), Laravel Blade Templates (Blade yapısı- Görünüm Şablonları), Database: Migrations (Veri tabanı oluşturma yapısı), Database: Query Builder (Veri tabanı sorgu oluşturucusu), Authentication (Doğrulama işlemler, üyelik sistemi), Localization (Yerelleştirme) yapıları Laravel'in öne çıkan özellikleri arasındadır.

3.2.3. Veri Tabanı (Database)

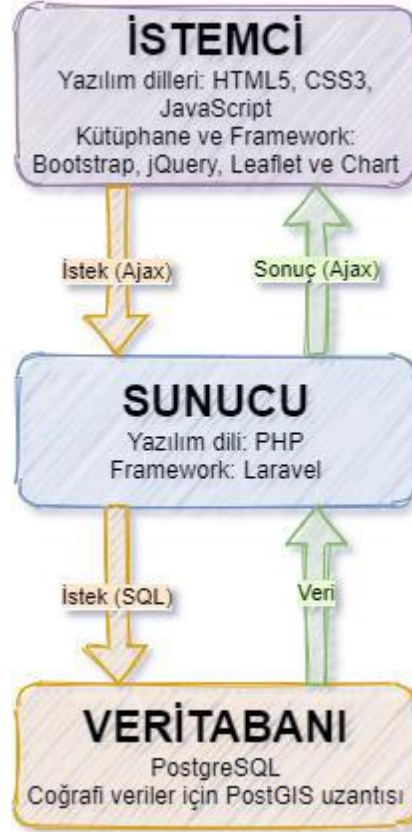
Çalışmanın veri tabanı kısmı PostgreSQL ve PostGIS uzantısı tarafından desteklenmiştir. Bu nedenle SQL sorgulama dili ve PostgreSQL veri tabanı yönetim sistemi hakkında açıklamalar yapılmış ayrıca coğrafi veriler için kullanılan PostGIS uzantısı tanıtılmıştır.

PostgreSQL, geliştiricilerin uygulamalar oluşturmaya, yöneticilerin veri bütünlüğünü korumasına, hataya dayanıklı ortamlar oluşturmaya ve veri kümesi ne kadar büyük veya küçük olursa olsun verileri yönetmeye yardımcı olmayı amaçlayan birçok özellikte birlikte gelir. PostgreSQL, ücretsiz ve açık kaynak özelliğine sahip olmasının genişletilebilir yapıdadır. Sorgulama dili olarak Structured Query Language (SQL) kullanır. SQL yapılandırılmış sorgu diliyle oluşturulacak web sayfasından veri tabanına erişilmesine ve değiştirilmesine olanak vermektedir. SQL ile veri tabanından sorgu işlemleri yapılabilir, veri filtrelenebilir, ekleme ve güncelleme işlemleri yapılabilir, yeni veri tabanı, yeni tablolar, saklı yordamlar ve prosedürler oluşturulabilir (W3School SQL, 2022). Örneğin, kişi kendi veri türlerini tanımlayabilir, özel işlevler oluşturabilir, hatta veri tabanını yeniden derlemeden farklı programlama dillerinden kod yazabilir (PostgreSQL, 2022).

PostgreSQL nesne ilişkisel veri tabanı için mekânsal veri tabanı genişleticisi olan PostGIS kullanılabilir. Konum sorgularının SQL'de çalıştırılmasına izin veren coğrafi nesnelere için destek ekler (PostGIS, 2022). PostgreSQL PostGIS eklentisi açık kaynak yazılım olarak veri tabanları arasında güçlü bir yere sahiptir. SQL olarak sorgulamaların yapılabileceği PostgreSQL'e ek olarak PostGIS eklentisiyle konumsal anlamda sorgulamalar yapılmaktadır. Büyük ticari firmalar konumsal sorgulamanın önemini yıllar önce fark etmiş ve bu konuda çalışmalara başlamışlardır. Örneğin dünyaca bilinen ve kullanılan Foursquare konum bazlı uygulamalar kullanılmaktadır (Uçaner vd., 2014; Cömert ve Akıncı 2004).

4. Web Tabanlı Harita Uygulaması (Web Based Map Application)

Çalışma kapsamında Web tabanlı dünya ve Mersin ölçeğinde korona virüs haritasında istemci ve sunucu taraflı programlama yapılmıştır. İstemci tarafında yazılım dilleri olarak HTML5, CSS3 ve JavaScript kullanılırken, kütüphane olarak açık kaynak kodlu Bootstrap, jQuery, Leaflet ve Chart kullanılmıştır (Bootstrap, 2022; W3School JS, 2022). İstemci ve sunucu taraflı iletişimi Ajax methodu kullanılarak çözümlenmiş olup sunucu taraflı programlamada ise Laravel framework olarak tercih edilmiştir. Sunucu ve veritabanı arasındaki iletişim SQL isteklerle sağlanmıştır. Çalışmanın mimarisine aşağıdaki şekilde yer verilmiştir (Şekil 7).



Şekil 7. Çalışmanın Sistem Mimarisi (System Architecture of the Project)

Çalışmanın uygulama kısmında önemli görülen kod bilgileri ayrıca makale içerisinde sunulmuş ve açıklamalar yapılmıştır.

4.1. Sistemin Geliştirilmesi (System Development)

4.1.1 Dünya Korona Virüs Verilerinden Veri Tabanı Oluşturma (Creating a Database from World Coronavirus Data)

Çalışmada kullanılan veri setleri ülkelerin Korona virüsten etkilenen kişi sayısı, vefat, iyileşen hasta gibi bazı bilgileri kamuoyuyla paylaştığı Rapidapi web sitesinden alınmıştır. Hızlı ve kısa yoldan bu bilgiye ulaşılması hedefiyle çalışma için API seçenekleri araştırılmıştır. Rapidapi tarafından yayınlanan Korona virüsle bilgiler ilgili 24 tane API incelenerek (Rapid API, 2022), ücretsiz olması, doğru bilgi iletisi, onaylanmış olması kullanılacak olan API seçilmiştir (Rapid API, 2022). Veriler doğrudan API ile iletişim kurularak, uygulama üzerinden gösterilmesi sonucu API'de meydana gelecek hataların uygulamaya yansımaları engellemek için veri tabanı oluşturularak bu veriler veri tabanına kaydedilmiştir. JQuery kullanılarak veriler GET isteği ile ülke adı ve tarihe göre çekilmiştir.

```

const settings = {
  "async": true,
  "crossDomain": true,
  "url": "https://covid-193.p.rapidapi.com/history?country=usa&day=2020-06-02",
  "method": "GET",
  "headers": {
    "x-rapidapi-key": "xxxxxxxxxxxxxxxxxxxx",
    "x-rapidapi-host": "covid-193.p.rapidapi.com"
  }
};

$.ajax(settings).done(function (response) {
  console.log(response);
});

```

Sistemi otomatikleştirmek için veri tabanına ülkelerin adları kaydedilerek PHP ile JSON formatında çekilmiştir. JavaScript fonksiyonuyla her bir dakikada bir istek atacak şekilde programlanmıştır. API tarafından verilen cevabın sonucunu Ajax metodu ve Laravel ile veri tabanına kayıt gerçekleştirilmiştir.

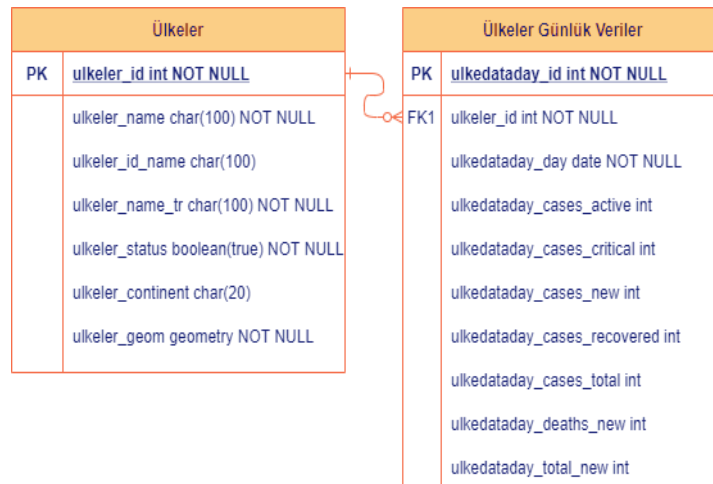
```

let country = <?php echo json_encode($dataContry); ?>;
let start=0;
function contryLoop() {
  setTimeout(function() {
    refreshCountry(basla, country[start].cntry_name)
    basla++;
    if (basla < country.length) {
      contryLoop();
    } else {
      alert('finish');
    }
  }, 1000)
}
contryLoop();

```

Veri tabanı tasarlanırken uygulamanın ihtiyaç duyduğu bilgilere göre iki tablo oluşturulmuştur. İlk tablo ülkelerle ilgili id, ülkenin adı, konum bilgileri, kıtası, statüsü gibi alanları içermektedir. Yapılan uygulamanın iki dilde de hizmet vermesi hedeflendiğinden ülke adları için hem İngilizce hem de Türkçe sütunları oluşturulmuştur.

Statü sütununun boolean değer alacak şekilde oluşturulma nedeni bazı ülkelerin verilerinin olmaması nedeniyle statüsü false olan ülkelerin verilerin çekilmesi engellenmiştir. Ülkelerin API'den çekilen verileri ayrı bir tabloya işlenmiş ve tekrarı engellemek amacıyla bu tablo kullanılmıştır. Tablo kendi id değeri dışında ülkenin ilk tablodaki id değerine göre verileri kaydetmektedir. Tablo tarih, aktif vaka sayısı, kritik vaka sayısı, yeni vaka sayısı, iyileşen sayısı, toplam vaka sayısı, toplam ölüm sayısı ve yeni ölüm sayısını gösterecek şekilde tasarlanmıştır (Şekil 8).



Şekil 8. Veri Tabanı Tablo Tasarımı (Database Table Design)

4.1.2. Veri Tabanı – Sunucu İletişimi (Database - Server Communication)

Sunucu tarafında veri tabanı verilerine ulaşabilmek için Laravel kullanılmıştır. PHP yazılım dilinde yazılan Laravel açık kaynak bir framework olarak çalışmaktadır. Sunucu ile veri tabanı arasında bağlantı kurması basit ve güvenli olduğu için tercih edilmiştir. Laravel ile Controller yapısında kendi çerçevesinde iletişim kurulabileceği gibi SQL kodları yazarak doğrudan iletişim kurulabilmektedir.

```
selectRaw("ST_AsGeoJSON(geom, 4326) as coordinate")
```

Veritabanındaki PostGIS özelliği ile gelen geometrik ve öznitelik verileri GeoJSON formatında aktarılmıştır

```
$geoJSONdata = $crn->map(function ($mapmy) {
    return [
        'type' => 'Feature',
        'properties' => $mapmy,
        'geometry' => json_decode($mapmy->coordinate),
    ];
});

return response()->json([
    'type' => 'FeatureCollection',
    'features' => $geoJSONdata,
]);
```

4.1.3 Laravel'in Kullanılan Özellikleri (Features Used in Laravel)

Uygulama kapsamında Laravel 8 versiyonu kullanılmıştır. Laravel Routing (Yönlendirme) yapısı ile Temsili Durum Transferi (Representational state transfer) REST işlemleri de yapılabilmektedir. Uygulama hem Türkçe hem İngilizce tasarlandığı için Laravel'in Localization işlemleri yapılmıştır. Laravel'in MVC (Model View Controller) yapısının View kısmını oluşturan Blade Templates ile HTML sayfasında kolaylıkla PHP dili kullanılabilir. Uygulamanın View kısmında Laravel'in Blade yapısı kullanılmıştır.

4.1.4 İstemci – Sunucu İletişimi (Client - Server Communication)

İstemci ve sunucu arasında istek ve cevap işlemleri JQuery Ajax metodu kullanılarak yapılabilir. Ajax, arka planda sunucu ile veri alışverişi yaparak web sayfalarının asenkron güncellemeler elde etmesini sağlar. İstemciden sunucuya istek (request) gönderilir. Sunucudan yanıt alınır (response). Bu işlemler sayesinde sayfa yüklendikten sonra bir web sunucusundaki veriler okunabilir, sayfa yenilenmeden web sayfası güncellenebilir. (Li, 2019). Uygulamada hem harita ile ilgili veriler hem de grafik ile ilgili verilerde Ajax metodu kullanılmıştır.

```
$.ajax({
    url: '{{route("Crn.country")}}'
    type:"get",
    data:{
        ulkenameid: layer.feature.properties.id
    },
    success:function(response){
        console.log(response);
    },
    error: function(data) {
        console.log(data);
    }
});
```

Yukarıda çalışmada kullanılan ajax metoduna ait kod yapısı bulunmaktadır. Kodlamadaki Url kısmındaki yapı Laravel'in blade yapısıyla gelen bir özelliktir. Öncelikle ilk kısımda Ajax metodunun iletişime geçeceği sayfa Url'si belirtilir. Type kısmında Rest yöntemlerinden birisi olan ve Url üzerinden verileri gönderen Get metodu kullanılmıştır. Bu yöntem Post metoduna göre güvenilir değildir ancak hızlıdır. Güvenlilik kaygısının olduğu işlemlerde Post metodu kullanılabilir. Hızlı ve büyük verilerin iletilmesinde ise genellikle Get metodu kullanılabilir (Li, 2019).

4.1.5 Leaflet.js ve Chart.js Kullanımı (Usage of Leaflet.js and Chart.js)

Leaflet, mobil uyumlu etkileşimli haritalar için önde gelen açık kaynaklı JavaScript kitaplığıdır. Yaklaşık 39 KB JS boyutundadır ve çoğu geliştiricinin ihtiyaç duyduğu haritalama özelliklerine sahiptir. Leaflet basitlik, performans ve kullanılabilirlik göz önünde bulundurularak tasarlanmıştır. Masaüstü ve mobil platformlarda verimli bir şekilde çalışır, birçok eklenti ile genişletilebilir, güzel, kullanımı kolay ve iyi belgelenmiş bir API'ye sahiptir. Katkıda bulunmanın basit olduğu, okunabilir bir kaynak koduna sahiptir. Leaflet'in temel bakış açısı herkes için her şeyi yapmak yerine temel şeylerin mükemmel şekilde çalışmasını sağlamaya odaklanmak üzerine kuruludur (Leafletjs, 2022). Leaflet yakınlaştırma düğmeleri, ilişkilendirme, katman değiştirici, ölçek, özel harita projeksiyonları, Geojson, İşaretçiler, Pop-up'lar, döşeme katmanlar WMS, nesne yönelimli programlama vb. birçok temel özelliğe sahiptir (Leaflet Features, 2022). Temel özelliklere odaklanması Leaflet'in daha hızlı çalışmasını sağlamaktadır (Dinçer vd., 2013). İhtiyaç duyulduğu zaman eklenti destekleri kullanılarak haritalama kütüphanesi geliştirilebilmektedir (Leaflet Plugins, 2022).

GeoJSON kullanılarak Leaflet kullanımına dair kendi yetenekleri ile oluşturulmuş örnek bir harita oluşturabilmek için HTML uzantılı bir dosya açarak HTML kalıpları yazılmalıdır. Leaflet ilgili CSS ve JavaScript dosyaları içe aktarılmalıdır. Haritanın kaplayacağı alan ve büyüklüğüne ait bilgiler aşağıdaki kodda da görüldüğü gibi body içerisinde verilmelidir.

```
<div id='map' style="width: 100%; height: 100%;"></div>
```

Haritanın hangi konumda açılacağı hangi zoom seviyesinde açılacağı L.Map kısmında tanımlanmaktadır. L.tileLayer olan kısımda ise altlık olarak hangi haritanın kullanılacağı tanımlanır çalışmada Açık kaynak özelliğine sahip Open Street Map harita altlığı seçimi yapılmıştır.

```
let map = L.map('map').setView([36.78124222006408, 34.509429931640625], 13);
```

```
L.tileLayer('https://{s}.tile.openstreetmap.org/{z}/{x}/{y}.png', {
  attribution: '&copy; <a href="https://www.openstreetmap.org/copyright">OpenStreetMap</a> contributors'
}).addTo(map);
```

Çalışma için GeoJSON formatında Dünya haritası oluşturulmuştur. GeoJSON formatındaki verinin Leaflet üzerinde gösterilmesi için GeoJSON formatındaki veri earth adında bir değişkene atanmıştır. Leaflet'in L.geoJSON fonksiyonu ile bu veri tanımlanmıştır. addTo(map) diyerek veri harita üzerine eklenmiştir.

```
let earthLayer = L.geoJSON(earth, {
  onEachFeature: onEachFeature,
  style: style
}).addTo(map);
```

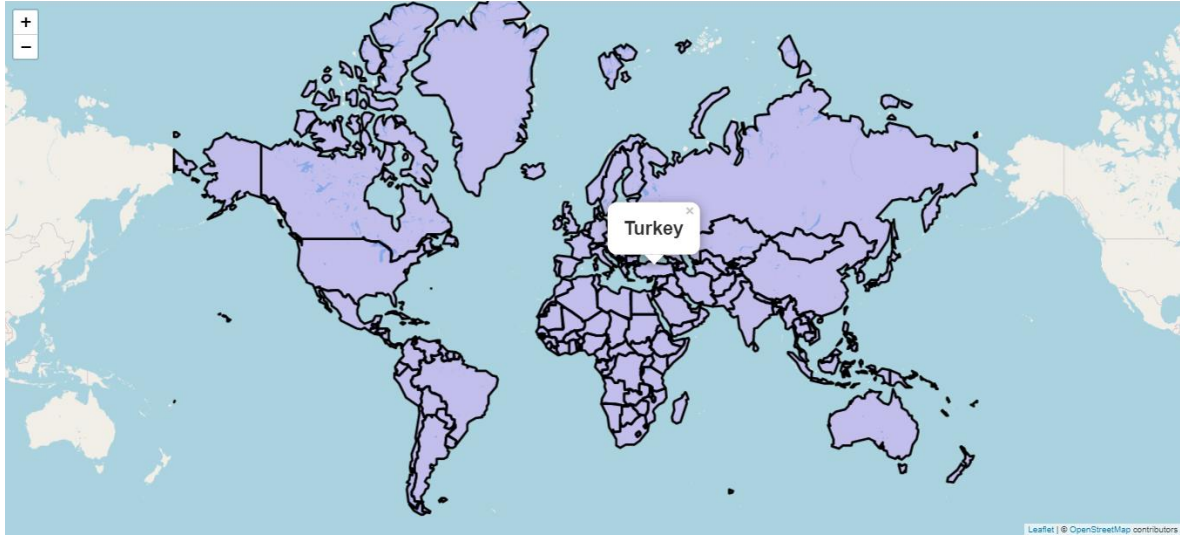
Leaflet üzerinde gösterilmesi için kullanılan değişken içeriğindeki onEachFeature fonksiyonu haritadaki açılır pencereyi göstermek için kullanılmıştır. GeoJSON formatındaki verilerin properties öznitelik verilerini oluşturan name verisini alarak açılır pencereye eklenmiştir

```
function onEachFeature(feature, layer) {
  let popupContent = "<h1>"+feature.properties.name+"</h1>"
  layer.bindPopup(popupContent);
}
```

Leaflet üzerinde gösterilmesi için kullanılan değişken içeriğindeki style fonksiyonu, haritadaki alansal verilerin renk, büyüklük gibi verilerini düzenlemek için kullanılır. Örnek olarak çizgi rengi ve dolgu rengi gösterilmiştir.

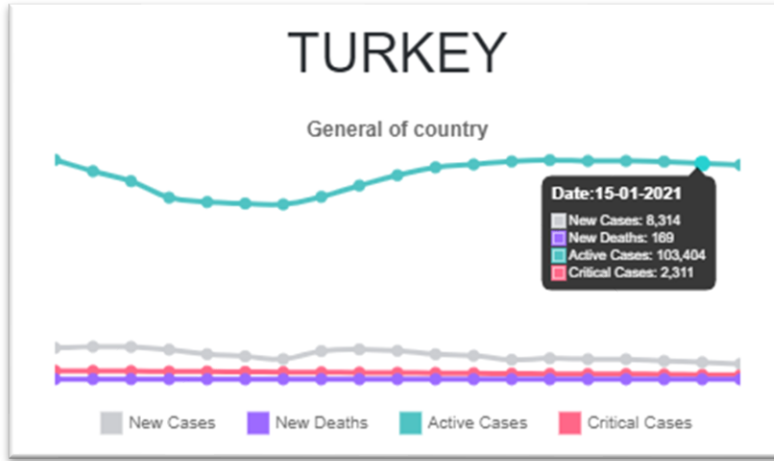
```
function style() {
  return {
    color: 'black',
    fillColor: 'blue'
  };
}
```

Yukarıda kısaca açıklanan kodlar yardımı ile basit bir haritanın oluşturulma süreci bilgilerine yer verilmiştir ve sonuç harita görünümü sunulmuştur (Şekil 9).



Şekil 9. Örnek Haritanın Ekran Sunumu (Presentation of the Sample Map on the Screen)

Çalışma kapsamında ek olarak haritada kullanılan grafiksel bilgiler Açık kaynak Chart JavaScript kütüphanesi kullanılarak oluşturulmuştur (Chartjs, 2022). Şekil 10'da grafik çalışması örneği görülmektedir.



Şekil 10. Türkiye'nin Dinamik Verilerinin Sunulduğu Grafik Örnek Yapısı (Example Structure of Dynamic Data Visualization for Türkiye)

4. 2. Web Tabanlı Harita Sunumları (Web-Based Map Presentations)

Uygulama yayınlanmadan önce local olarak kurulan XAMPP sunucunda geliştirilmiştir. Uygulama geliştirilirken her aşamasında yukarıda adı geçen açık kaynak yazılımlar ve kütüphaneler kullanılmıştır. Uygulamanın internet ortamına sunulması için alan adı ve sunucuya ihtiyaç vardır. Bunun için genellikle sunucu kiralama servisleri kullanılmaktadır. Uygulamada da paylaşımlı bir sunucu kiralanmıştır. Hazırlanan dosyaların yüklenmesi işlemi için açık kaynak yazılımı olan FileZilla kullanılmıştır (FilleZilla, 2022). Veri tabanı tasarımı ise backup alınarak sunucudaki veri tabanına aktarılmıştır.

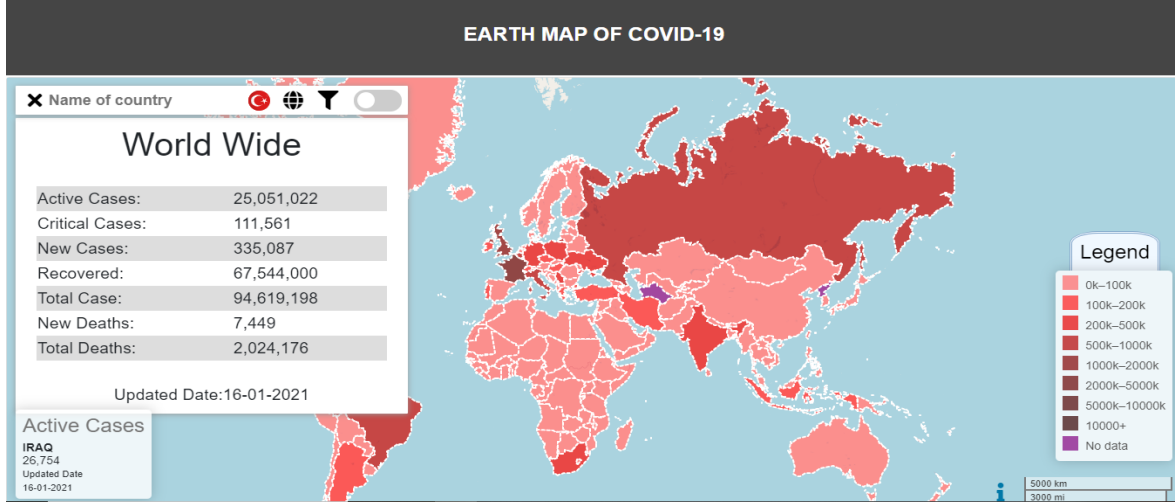
4.2.1. Dünya Korona Virüs Web Tabanlı Harita Sunumu (World Coronavirus Web-Based Map Presentation)

Koroplet özellikle hazırlanan dünya korona virüs haritası trmap.net/covid-19 adresinden yayınlanmıştır. Bu tip görselleştirme Birleşik Krallıkta bölgesel olarak korona virüs değişiminin izlenmesinde (UK Health Security Agency, 2023) ve Dünya Sağlık Örgütü tarafından desteklenen interaktif korona virüs haritasında (WHO Korona virüs (COVID-19) Dashboard, 2023) kullanılmıştır.

Haritanın arama barında soldan sağa doğru Leaflet'in eklentisi Sidebar kullanılmıştır. Sidebarın kontrolü için buton oluşturulmuştur. Kapatıldıktan sonra tekrar açılması için bir buton çıkmaktadır. Arama kısmı eklenti kullanılmadan JavaScript ile yazılmıştır. Dil değiştirme butonu, haritanın başlangıç değerine döndürme butonu, filtreleme butonu, haritanın her hareketi esnasında güncellenmenin her an yapılması için aç kapa butonu bulunmaktadır. Filtreleme butonu tıklayınca açılan pencereden istenilen özellik filtrelemesi yapılabilmektedir.

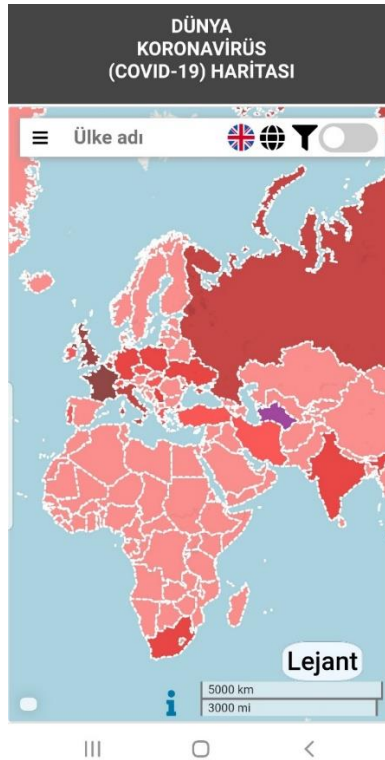
Uygulamanın masaüstü tarayıcılarda sol alt köşedeki hızlı bilgilendirme ekranını fare ile hareket ettirildiğinde hangi ülke sınırındaysa ülkeye ait bilgilendirme açılmaktadır (Şekil 11).

Ülke sınırlarının seçimi ile iki durum aktifleşmektedir. Sidebar panelinde dinamik grafik oluşmaya başlar sadece seçilen ülke ile ilgili veri tabanına da bulunan verilerin grafiği oluşur. Uygulama ekranının sol kısmında yer alan lejant değerleri haritadaki ülkelerdeki toplam vaka sayısına göre renklendirilmiştir. Uygulama altı farklı tarayıcıda (Google Chrome, Opera, Edge, Yandex, Firefox, İnternet explorer) sorunsuzca kullanılabilirdiği testlerinden geçmiştir. Mobil ekranlara uyumlu yapısı sayesinde uygulamanın responsive (duyarlı) bir tasarım olmuştur.



Şekil 11. Dünya Korona Virüs Haritasının Masaüstü Tarayıcı Ekranı (Desktop Browser Screen of the World Coronavirus Map)

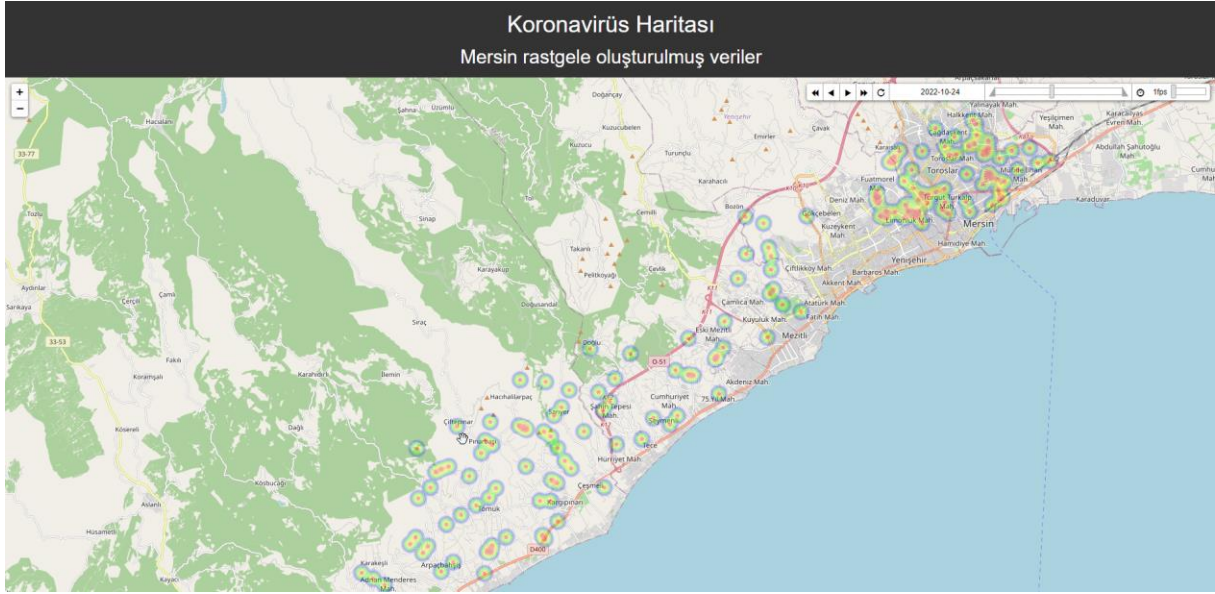
Mobil tarayıcılarda sol alt köşedeki hızlı bilgilendirme ekranının açılması için ülke sınırlarının seçilmesi gerekmektedir (Şekil 12). Lejant ve sidebar paneli küçük ekranlar için çok büyük bir alan kapladığı için açılma ekranında mobil tarayıcılarında kapalı olarak gelmektedir istenildiği zaman açılabilir.



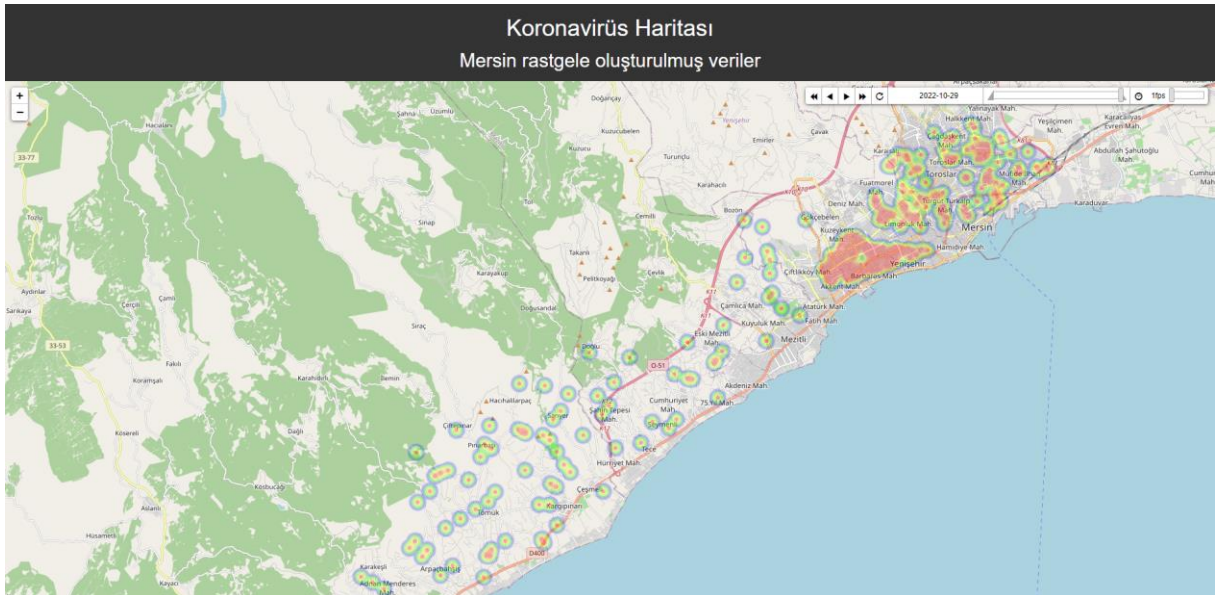
Şekil 12. Dünya Korona Virüs Haritasının Mobil Tarayıcı Ekranı (World Coronavirus Map on Mobile Browser Screen)

4.2.2. Mersin Korona Virüs Web Tabanlı Isı Haritası Sunumu (Mersin Corona Virus Web-Based Heatmap Presentation)

Çalışmayı geliştirmek amacıyla farklı bir gösterim yöntemi olarak zaman akışına bağlı ısı haritası üretimi yöntemi kullanılmıştır. Isı haritası kullanımı Romanya (Ionescu ve Enescu, 2020) ve Türkiye (Hayat Eve Sığar, 2023) örneğinde de bulunmaktadır. Oluşturulan ısı haritaları diğerlerinden farklı olarak tarihsel olarak salgının ne tarafa doğru yöneldiği tespit edilebilecektir. Salgının önlenmesine yönelik çalışmalarda kısmi karantina uygulanacak bölgelerin tespiti önlemler alınabilir. Çalışmaya nüfus yoğunluğu, nüfusun hareket alanı, ulaşım araçları kullanımı gibi verilerle çalışma genişletilebilir. Çalışmada on günlük test verisi eklenerek çalışmanın mantığı anlatılmaya çalışılmıştır. Birinci haritada (Şekil 13) az yoğunluktaki vaka sayısı sonraki günlerde artışı üzerinde durulan bir senaryo ile tasarlanmıştır (Şekil 14).



Şekil 13. Korona Virüs Haritası Zaman Akışı ve Isı Haritası 24.10.2022 Test Verileriyle yapılmıştır (COVID-19 Map is Created with Time Series and Heat Map on October 24, 2022 Using Test Data)



Şekil 14. Korona Virüs Haritası Zaman Akışı ve Isı Haritası 29.10.2022 Test Verileriyle Yapılmıştır (COVID-19 Map is Created with Time Series and Heat Map on October 29, 2022 Using Test Data)

Web uygulaması tasarımlarında en dikkat çekici unsurlardan birisi responsive (duyarlı) olup olmadığıdır. Responsive yapıya uygun olmayan yazılımlar iki veya daha fazla web sayfası tasarımına neden olmaktadır. Mobil için ayrı masaüstü için ayrı tablet için ayrı web sayfaları oluşturması gerekmektedir. Web uygulaması yapılırken responsive özellikleri bulunan kütüphanelerin tercihi önemlidir. Uygulama kapsamında Leaflet açık kaynak JavaScript kütüphanesinin tercih edilme nedenlerinden bir de responsive (duyarlı) özelliğe sahip olmasıdır.

Bootstrap gibi kütüphanelerin kullanılması da responsive (duyarlı) özellikleri hızlıca tanımlayabilmektir.

5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

COVID-19 pandemisinin izlenmesi, kayıt altına alınması, analiz edilmesi için ticari ve açık kaynak destekli birçok web tabanlı çalışma yapılmıştır. Bu çalışmaların birçoğu pandeminin aktif takibinde kişilerin hastalığın ciddiyeti ve önemi konusunda farkındalığını arttırmıştır. Özellikle Sağlık Bakanlığı destekli Hayat Eve Sığar uygulaması Türkiye’de oldukça aktif kullanılmıştır. Çalışmada olduğu gibi bugün birçok web uygulaması açık kaynak yazılımlarla geliştirilip yayınlanmıştır. Bugün birçok kuruluş tarafından tercih edilmesi açık kaynak yazılımlarının yeterliliklerini ortaya koymaktadır. Web uygulamalarında ticari yazılımlarda tercih edilebilir ancak maliyet hesaplamasında ticari yazılımlar çok daha fazla mali yük getirmektedir. Açık kaynaklarla oluşturulmuş bir uygulamanın maliyeti kullanılan sunucu, alan adı, donanım ve kullanıcıdır. Ticari kaynaklı yazılımları kullanırken de kullanılan sunucu, alan adı, donanım ve kullanıcıya ihtiyaç duyulmaktadır. Karşılaştırma sonucunda ticari yazılımların daha fazla maliyet ortaya çıkarıldığı görülmektedir. Web uygulaması için yeterlilik ölçütlerine göre ticari veya açık kaynak yazılımlar tercih edilebilir. Yapılan Dünya korona virüs haritasında Açık kaynak Leaflet JavaScript Kütüphanesi yeterli olmuştur. Uygulama altı farklı tarayıcıda (Google Chrome, Opera, Edge, Yandex, Firefox, İnternet explorer) sorunsuzca kullanılmıştır. Mobil tarayıcılarda denenerek responsive (duyarlı) yapıya sahip olduğu test edilmiştir. Gelecek uygulamalarda yeterli olmayan maddi kaynaklar dolayısıyla ertelenmesi yerine alternatif olarak açık kaynak kütüphaneler tercih edilebilir.

Korona virüs ile ilgili yapılan harita çalışmaları kamuoyunun aydınlatılması açısından önem taşımaktadır. Kullanıcıya bilgiyi zamanında, maddi kaygı gözetmeksizin, doğru ve görselleştirilmiş şekilde aktarmak önemlidir. Bu beklentiler açık kaynaklı yazılımlar ile sağlanabilir.

Çalışma web tabanlı harita sunumu konusuna ilgi duyan ve konuya yeni başlayan bilim insanlarına yol gösterici niteliktedir. Kullanılan bu sistemler farklı analizler ile korona virüs gibi ülke, bölge, hata bütün dünya için risk içeren olaylarda hızlı görsel sunum, analiz ve raporlama bunun sonucunda riskin uygun yönetim şekline hızlı karar verilebilmesi açısından geliştirilebilir. Yapay zekâ ve makine öğrenmesi yöntemleri ile analiz edilen verilerin haritalar üzerinde sunumu sağlanabilir.

Teşekkür (Acknowledgement)

Çalışmada Korona virüs verilerine rapidAPI sitesi kullanılarak erişim sağlanmıştır. Çalışmanın altyapısı Yüksek Lisans öğrencisi Bilal Er’in Açık Kaynak Destekli Web Tabanlı Turizm Haritası ve Web Tabanlı Veri Toplama isimli yüksek lisans tezinin altyapısının bir kısmı kullanılarak 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)

- Cömert, Ç., & AKINCI, H., 2004. Web services, NSDI and e-government. In *Proc. of the FIG Working Week* (pp. 1-13).
- Cömert, Ç., ve Bostancı, H., 1999. Turist Bilgi Sistemleri ve Trabzon Örneği, Yerel Yönetimlerde KBS Uygulamaları Sempozyumu: 168-81.
- Dinçer, A., Uraz B., Seyrek K., ve Günel B., 2013. CBS Web Uygulama Geliştirilmesinde Performans ve Özelliğe Göre Sdk/API Seçilmesi, Tmmob Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi.
- USTA, İ., KIRAY, H. S., 2018. 53 Journal of Chemical Information and Modeling, Web Yayıncılığı.
- Ionescu, V. M., ve Enescu F. M., 2020. Web Application for Timeline Representation of COVID-19 Data in Romania, Proceedings of the 12th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence, ECAI.
- Jia, J.S., Lu, X., Yuan, Y. ve diğerleri., 2020. Population flow drives spatio-temporal distribution of COVID-19 in China. *Nature* 582, 389-394. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2284-y>
- Qi, H., Xiao, S., Shi, R., Ward, M. P., Chen, Y., Tu, W., & Zhang, Z., 2020. COVID-19 transmission in Mainland China is associated with temperature and humidity: A time-series analysis. *Science of the total environment*, 728, 138778.
- Juergens, C. Trustworthy., 2020. COVID-19 Mapping: Geo-spatial Data Literacy Aspects of Choropleth Maps. *KN J. Cartogr. Geogr. Inf.* 70, 155-161. <https://doi.org/10.1007/s42489-020-00057-w>
- Arab-Mazar, Z., Sah, R., Rabaan, A. A., Dhama, K., & Rodriguez-Morales, A. J., 2020. Mapping the incidence of the COVID-19 hotspot in Iran-Implications for Travellers. *Travel medicine and infectious disease*, 34, 101630.
- Rosenkrantz, L., Schuurman, N., Bell, N., & Amram, O., 2021. The need for GIScience in mapping COVID-19. *Health & Place*, 67, 102389.
- Allen, W.E., Altae-Tran, H., Briggs, J. Ve diğerleri., 2020. Population-scale longitudinal mapping of COVID-19 symptoms, behaviour and testing. *Nat Hum Behav* 4, 972-982. <https://doi.org/10.1038/s41562-020-00944-2>

- Gao, S., Rao, J., Kang, Y., Liang, Y., & Kruse, J., 2020. Mapping county-level mobility pattern changes in the United States in response to COVID-19. *SIGSpatial Special*, 12(1), 16-26.
- Zachreson, C., Mitchell, L., Lydeamore, M. J., Rebuli, N., Tomko, M., & Geard, N., 2021. Risk mapping for COVID-19 outbreaks in Australia using mobility data. *Journal of the Royal Society Interface*, 18(174), 20200657.
- Sugg, M. M., Spaulding, T. J., Lane, S. J., Runkle, J. D., Harden, S. R., Hege, A., & Iyer, L. S., 2021. Mapping community-level determinants of COVID-19 transmission in nursing homes: A multi-scale approach. *Science of the Total Environment*, 752, 141946.
- Mooney, P., & Juhász, L., 2020. Mapping COVID-19: How web-based maps contribute to the infodemic. *Dialogues in Human Geography*, 10(2), 265-270.
- Kent, A. J., 2020. Mapping and Counter-Mapping COVID-19: From Crisis to Cartocracy. *The Cartographic Journal*, 57(3), 187-195.
- Iosifescu Enescu, I., 2011. *Zürich Cartographic Web Services*, Zürich.
- Li, S., 2019. HTML5 Based Ajax and SSE Technology with Server Intelligent Instant Messaging to Meet the Needs of Transactional Websites. *ITM Web of Conferences* 25: 01008. <https://doi.org/10.1051/itmconf/20192501008>
- Nicola, M., Alsafi, Z., Sohrabi, C., Kerwan, A., Al-Jabir, A., Iosifidis, C., Agha, M., Agha, R., 2020. The Socio-Economic Implications of the Coronavirus Pandemic (COVID-19): A Review. *International Journal of Surgery* 78: 185-93. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1743919120303162>.
- Şahin, Y. L., Kılıçer, K., Çoklar, A. N., Şendağ, S., Salar, H. C., Çankaya, S., Dönmez, O., Çuhadar, C., 2013. *Anadolu Üniversitesi Web Tabanlı Kodlama*.
- Teker, Ö., 2017. *Derinlemesine PHP Fundamentals WEB Database Services*. İstanbul.
- Tokak, B., 2015. *Html5 CSS3 ve JavaScript ile WEB Tasarımı*. İstanbul: Dikeyksen Yayıncılık.
- BBC., 2022. Coronavirus confirmed as pandemic by World Health Organization, 17 Ekim 2022 tarihinde <https://www.bbc.com/news/world-51839944> adresinden erişildi.
- Döker, M. F., & Fatih, O. C. A. K. 2020. COVID-19 salgınının Türkiye'deki coğrafi dağılışının izlenmesinde Web CBS kullanımı. *Türk Coğrafya Dergisi*, (76), 7-18.
- WHO., 2022. WHO Coronavirus (COVID-19) Dashboard, 17 Ekim 2022 tarihinde <https://covid19.who.int/> adresinden erişildi.
- Esri Covid Map., 2022. Johns Hopkins University and Medicine Covid Map, 17 Ekim 2022 tarihinde <https://gisanddata.maps.arcgis.com/> adresinden erişildi.
- Google News., 2022. Koronavirüs Haritası, 17 Ekim 2022 tarihinde <https://news.google.com/covid19/map> adresinden erişildi.
- ITU., 2020. Internet of Things Global Standards Initiative, 17 Ekim 2022 tarihinde <https://www.itu.int/en/ITU-T/gsi/iot/Pages/default.aspx> adresine erişildi.
- Bootstrap., 2022. Bootstrap Documentation, 17 Ekim 2022 tarihinde <https://getbootstrap.com/> adresine erişildi.
- W3School JS., 2022. W3School JavaScript Intro, 17 Ekim 2022 tarihinde <https://www.w3schools.com/js/default.asp> adresine erişildi.
- Json., 2022. Json Intro, 17 Ekim 2022 tarihinde <https://www.json.org/json-en.html> adresine erişildi.
- Boduch, A., Chaffer, J., & Swedberg, K., 2017. *Learning JQuery 3. 0*. Birmingham: Packt Publishing, Limited.
- W3techs., 2020. Usage statistics of server-side programming languages for websites. 17 Ekim 2022 tarihinde https://w3techs.com/technologies/overview/programming_language adresinden erişildi.
- Laravel., 2022. Laravel Documentation, 17 Ekim 2022 tarihinde <https://laravel.com/> adresinden erişildi.
- W3School SQL., 2022. SQL Intro, 17 Ekim 2022 tarihinde https://www.w3schools.com/sql/sql_intro.asp adresinden erişildi.
- PostgreSQL., 2022. 17 Ekim 2022 tarihinde <https://www.postgresql.org/> adresinden erişildi.
- PostGIS., 2022. 17 Ekim 2022 tarihinde <https://postgis.net/> adresinden erişildi.
- Rapid API., 2022. Covid-19 Country Data, 17 Ekim 2022 tarihinde <https://rapidapi.com/collection/coronavirus-covid-19> adresinden erişildi.
- Leafletjs., 2022. Leaflet Javascript Library, 17 Ekim 2022 tarihinde <https://leafletjs.com/> adresinden erişildi.
- Leaflet Features., 2022. Features, 17 Ekim 2022 tarihinde <https://leafletjs.com/#features> adresinden erişildi.
- Leaflet Plugins., 2022. Leaflet Plugins database, 17 Ekim 2022 tarihinde <https://leafletjs.com/plugins.html> adresinden erişildi.
- Chartjs., 2022. 17 Ekim 2022 tarihinde <https://www.chartjs.org/> adresinden erişildi.
- FilleZilla., 2022. 17 Ekim 2022 tarihinde <https://filezilla-project.org/> adresinden erişildi.
- Hayat Eve Sığar., 2023. 27 Mart 2023 tarihinde <https://hayatevesigar.saglik.gov.tr/> adresinden erişildi.
- Johns Hopkins University & Medicine., 2023. 27 Mart 2023 tarihinde <https://coronavirus.jhu.edu/map.html> adresinden erişildi.
- UK Health Security Agency., 2023. 27 Mart 2023 tarihinde <https://coronavirus.data.gov.uk/details/interactive-map/cases> adresinden erişildi.
- WHO Coronavirus (COVID-19) Dashboard., 2023. 27 Mart 2023 tarihinde <https://covid19.who.int/> adresinden erişildi.
- Google Coronavirus News., 2023. 27 Mart 2023 tarihinde <https://news.google.com/covid19/map> adresinden erişildi.



ASİMETRİK EŞ-DÜZLEMSEL ŞERİT BESLEMELİ ANTEN İLE MOTOR YAĞ SEVİYE VE KULLANIM ÖMRÜ TESPİTİ

Mustafa YILDIRIM^{1*}, Mahmut Ahmet GÖZEL¹

¹ Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>AEŞ Mikroşerit Anten, Motor Yağ Ömrü Tespiti, Motor Yağ Seviye Tespiti, Sensör Anten.</i>	Motorun aşınmasını ve ısınmasını engelleyen motor yağ (MY) ömrü araç performansı açısından büyük bir öneme sahiptir. Bu çalışma ile araç MY seviye ve kullanım ömrünü belirleyebilecek bir sensör gerçekleştirilmiştir. MY ömrü ve seviye tespiti için iki farklı yağ numunesi içerisine önerilen anten yerleştirilerek geri dönüş kaybı grafiğindeki rezonans frekansı ile bant genişlikleri incelenmiştir. Önerilen anten ile MY ömrünün gerçek zamanlı tespitinin mikrodalga frekanslarda gerçekleştirilmiştir. Bu teknikle MY değişim periyotları ile ilgili daha kesin bir çözümün gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. Sensör için Asimetrik Eş-düzlemsel Şerit (AEŞ) beslemeli mikroşerit anten tasarımı gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan antenin sıvı dışındaki çalışma frekansı 2.4 GHz bant genişliği ise 150 MHz olarak ölçülmüştür. Antenin MY içerisine 60 mm ve 70 mm uzunluklarında yerleştirildiğinde rezonans frekansı ve bant genişliğinde anlamlı bir değişim meydana gelmiştir. Bu antenin MY içerisindeki 60 mm uzunluk seviyesi için 0 km MY numunesinde rezonans frekansı ve bant genişlikleri sırasıyla 2,20 GHz ile 120 MHz, 10000 km için sırasıyla 2,18 GHz ile 130 MHz olarak ölçülmüştür.

ENGINE OIL LIFETIME AND LEVEL DETECTION WITH ASYMMETRIC CO-PLANAR STRIP-FED ANTENNA

Keywords	Abstract
<i>ACS Microstrip Antenna, Engine oil Lifetime Detection, Engine oil Level Detection, Sensor Antenna.</i>	Determination of engine oil (EO) lifetime, which prevents wear and heating of the engine, has great importance in terms of vehicle performance. In this study, a sensor antenna was designed to determine the level and service life of vehicle EO. For EO lifetime and level detection, the proposed antenna was placed in two different oil samples and the resonance frequency and bandwidth in the return loss graph were examined. Real-time detection of EO lifetime was performed at microwave frequencies with the proposed antenna. This technique, it is aimed to realize a more precise solution regarding EO change periods. Asymmetrical Co-planar Strip (ACS) fed microstrip antenna design has been carried out for the sensor. The operating frequency of the designed antenna without liquid was measured as 2.4 GHz and the bandwidth was measured as 150 MHz. A significant change occurred in the resonance frequency and bandwidth when the antenna was placed in the EO at 60 mm and 70 mm lengths. For the 60mm length level of this antenna in the EO, the resonance frequency and bandwidths of the 0 km EO sample were measured as 2.20 GHz and 120 MHz, and for 10000 km, 2.18 GHz, and 130 MHz, respectively.

Alıntı / Cite

Yıldırım, M., Gözel, M. A., (2023). Asimetrik Eş-Düzlemsel Şerit Beslemeli Anten ile Motor Yağ Seviye ve Ömür Tespiti, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(3), 904-915.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

M. Yıldırım, 0000-0002-5675-1714
M. A. Gözel, 0000-0002-0360-7188

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	16.01.2023
Revizyon Tarihi / Revision Date	04.04.2023
Kabul Tarihi / Accepted Date	27.04.2023
Yayın Tarihi / Published Date	28.09.2023

* İlgili yazar / Corresponding author: mustfayildirimm@gmail.com, +90-542-890-9779

ENGINE OIL LIFETIME AND LEVEL DETECTION WITH ASYMMETRIC CO-PLANAR STRIP-FED ANTENNA

Mustafa YILDIRIM^{1†}, Mahmut Ahmet GÖZEL¹

¹Department of Electric-Electronic Engineering, Isparta Suleyman Demirel University, Isparta, Turkey

Highlights

- Depending on automobile usage, EO level decrease and can't be usable in the process of time.
- The permittivity properties of EO change depending on the service life, as in other fluids.
- The EO level can be detected by testing the proposed sensor antenna at different oil-liquid depths.
- The proposed sensor can also detect the life of the EO depending on the oil permittivity change.

Graphical Abstract

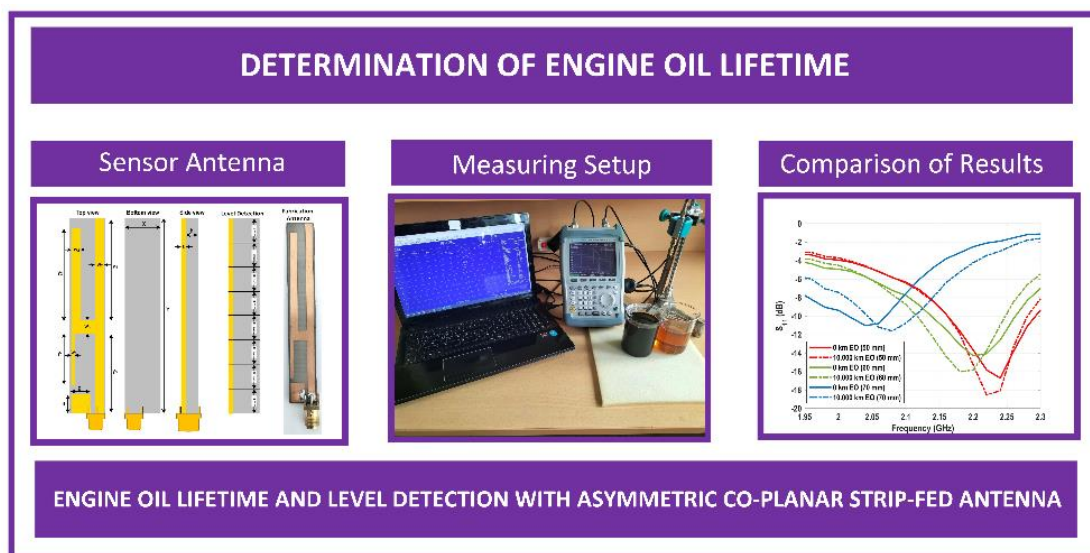


Figure. The Sensor Design, The Measurement Setup, And The Effective EO Depths Of The Results.

Purpose and Scope

The primary purpose of this study is to design a sensor antenna using microwave frequencies to detect the change in EO levels and the lifetime of motor oils used in automobiles.

Design/methodology/approach

In this study, an asymmetric co-planar strip-fed sensor antenna has been fabricated. This sensor was placed in Motul brand 5w-30 viscosity, never used and 10000 km used engine oil at different depths so, the engine oil level and lifetime were tested over the antenna return loss value, which is an S-parameter.

Findings

With the sensor antenna, measurements were performed for oil level and lifetime at different depths in the EO samples. It has been observed that the resonance frequency of the S_{11} parameter changes significantly for different EO depths of the sensor. In addition, in the S_{11} graphs for 50, 60, and 70 mm oil depths, it has been observed that there is a change of about 3 dB in the engine oil used at 10000 km compared to the engine oil that has never been used.

Originality

The novel sensor antenna developed with this study adds innovation to the literature in terms of having the ability to measure oil levels and test oil lifetime at the same time.

[†] Corresponding author: mustfayildirimm@gmail.com, +90-542-890-9779

1. Giriş (Introduction)

Mikroşerit antenlerin yüksek hassasiyeti, düşük üretim maliyeti ve tasarım kolaylığı sebebi ile günümüzde sağlık (Groumpas vd., 2022), sanayi (Zhu vd., 2020) ve gıda (Bakır ve Yaşar, 2020) sektörü başta olmak üzere birçok alanda sensör olarak kullanımı tercih edilmektedir. Sensör antenler (Sanders vd., 2015), mikrodalga iletim hatları (Meyne, Latus, vd., 2014), metamalzemeler (Withayachumnankul vd., 2013) ve dielektrik rezonatörler (Meyne, Cammin, vd., 2014) gibi yapılar, farklı dielektrik özellikteki sıvı veya katı malzemelerin karakterizasyonunu belirlemek amacıyla kullanılmaktadır. Mikrodalga iletim hatlarının (Abdelwahab vd., 2021) veya mikroşerit antenlerin (Lopato ve Herbko, 2018), malzeme karakteristiğini belirlemek için kullanıldığı uygulamalarda S-parametrelerinden ve rezonans frekanslarındaki değişimlerden faydalanılmaktadır (Al-Mudhafar ve Ra'ed, 2022). Son yıllarda yapılan çalışmalardan birinde, etanol ve metanol sıvıları içerisinde bulunan suyun oranını tespit etmek için Dairesel Mikroşerit Yama Anten (DMYA) tabanlı sensör tasarımı gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan bu sensör anten ile, etanol ve metanol sıvılarından 0 ile 100 arasındaki her %10'luk su değişiminin, anten çalışma frekansını sırasıyla 2,944-2,988 GHz ile 2,944-2,982 GHz arasında değiştirmiştir (Akgöl, 2018). Başka bir çalışmada birbirinden farklı sıvı solüsyonlarındaki pH oranının belirlenebilmesi için rezonans frekansı 3,87 GHz olan dikdörtgenel mikroşerit yama anten tasarlanmıştır. Tasarlanan bu antenin merkezinde, 0,2 ml miktarında solüsyon sıvı numunelerinin damlatılacağı, 10 mm² alanında kare bir yarık açılmıştır. Bu çalışma ile yarık içerisine damlatılan sıvıların pH seviyesi azaldıkça antenin yansıma genliğinde artışlar ve rezonans frekansında doğrusal bir azalma olduğu gösterilmiştir (Bouchalkha ve Karli, 2019). Literatürde yapılan bir diğer çalışma ise deniz suyunun tuzluluk oranını mikroşerit antenle tespit edilmesine yönelik çalışmadır. Bu çalışmada antenin yama ve toprak düzlemi arasına bir sıvı numune haznesi tasarlanarak, haznenin içerisine deniz suyu doldurulmuştur. Bu haznenin içerisine yerleştirilen farklı tuz oranlarındaki su örnekleri ile antenin yansıma genliğinde ve rezonans frekansındaki değişimler incelenmiştir. Tasarlanan sensör anten ile her 0,01 ppt (tuzluluk miktarı) için antenin rezonans frekansında 48 kHz'lik değişimler elde edilmiştir (Lee vd., 2017). Mikroşerit anten tabanlı sensörlerin kullanımı sanayi alanında da hızla yaygınlaşmaktadır (Zhu vd., 2020). Sanayide ve günlük hayatta kullandığımız makinaların hareketli parçaları çalışma esnasında birbirine sürtünerek aşınmalara sebep olmaktadır. Bu aşınmaların ortadan kaldırılması için genellikle bu makine parçalarında makine yağları kullanılmaktadır. Makine yağlarında çevresel etkilere bağlı olarak nemlenme meydana gelmektedir. Bu nemlenme makine yağlarının işlevini kaybetmesine sebep olmaktadır. Bu sebeple makine yağının nem miktarının tespit edilmesi ve tolere edilebilecek nem oranların belirlenmesi gerekmektedir. Günümüzde makine yağlarının işlevini sürdürüp sürdüremeyeceğini anlık olarak tespit edemeyen birçok sistem bulunmaktadır. Örneğin araç motor yağ bakımları böyle bir sistemin olmaması sebebi ile önceden belirlenmiş tahmini periyotlarda yapılabilmektedir. Bir çalışmada makine yağlarındaki nem oranı belirlenebilmesi için yeni bir düzenek gerçekleştirilerek mikroşerit antenler sensör olarak kullanılmıştır (Zhu vd., 2020). Bu çalışmada yağ nem oranlarının tespiti için 2,26 GHz çalışma frekansındaki antenin geri dönüş kaybındaki (S_{11}) değişimler izlenmiştir. Sonuçlara bakıldığında yağlama yağının içerisindeki nem oranı artışının antenin rezonans frekansında anlamlı değişimlere sebep olduğu anlaşılmaktadır. Mikroşerit iletim hattının sensör olarak kullanıldığı bir çalışmada legal ve illegal akaryakıt tespiti için X bandında çalışmak üzere tasarlanan iletim hattı tabanlı sensör, akaryakıtta hileleri tespit etmek için kullanılmaktadır (Tamer, 2019). Bu çalışmada tasarlanan iletim hattının üzerinde akaryakıt numunelerinin damlatıldığı boşluklar bulunmaktadır. Bu boşluklara damlatılan farklı akaryakıt numunelerinin iletim hattının X bandında iletim oranında gözle görülebilir değişimler medyana geldiği anlaşılmıştır. Böylece iletim orandaki bu değişimlerden yararlanılarak kaçak akaryakıt ve markalı akaryakıtların tespiti sağlanmaktadır. Bir başka çalışmada etanol içerisinde su oranının tespit edilebilmesi için iletim hattı tabanlı sensör tasarlanmıştır (Chuma vd., 2018). Bu çalışmada etanol içerisinde bulunan su oranının değişimi, antenin çalışma frekansını 2,25-2,40 GHz arasında değiştirmiştir. Sıvı numunelerin karakterizasyonunu daha hassas tekniklerle belirleyebilmek için farklı yöntemlerin birlikte kullanıldığı çalışmalar da mevcuttur (Bakır ve Yaşar, (Withayachumnankul vd., 2013). Bir çalışmada metamalzeme tabanlı omega şekilli rezonatör yapılı iletim hattı kullanılarak sıvı numuneler test edilmiştir (Abdulkarim vd., 2020). Tasarlanan bu iletim hatlı sensör ile trafo yağı, etanol ve metanol numuneleri incelenmiştir. İncelenen bu numunelerden trafo yağı için eskimiş ve temiz trafo yağının iletim oranında meydana getirdiği farktan faydalanarak trafo yağının ömrünün tespit edilebilmesi hedeflenmiştir. Ayrıca aynı çalışmada etanol ve metanol içerisinde bulunan su oranının tespitinin yapıldığı da anlaşılmaktadır. Etanol ve metanol içerisinde su oranı artıkça iletimin azaldığı rezonans frekansında su oranına paralel bir şekilde arttığı gözlemlenmiştir. Başka bir çalışmada sağlık alanında biyolojik sıvıların dielektrik özelliklerinin tespit edilebilmesine yönelik yapılan çalışmalarda minyatür boyutlarda 0-40 GHz frekans spektrumunda çalışan iletim hattı tasarımları kullanılmıştır (née Haase vd., 2015). Tasarlanan iletim hattı ile biyolojik numunelerin dielektrik katsayılarının frekans bölgesinde değişimleri incelenmiştir. Bu değişimler elde edilerek biyolojik sıvıların karakteristik özellikleri kategorize edilebilmektedir. Bir çalışmada metanolla kirlenmiş yerel ispirto numunesindeki metanol miktarını hem sayısal hem de deneysel olarak tespit etmek için metamalzeme tabanlı bir iletim hattı sensörü kullanılmıştır (Dalgac vd., 2021). Tasarlanan bu iletim hattının çalışma frekansı 1-8 GHz arasındadır. Bu frekans aralığında ispirtoya eklenen metanol oranı ile iletim oranının ve iletim hattının rezonans frekansındaki değişimlerinin incelendiği gözlemlenmiştir

Sensör anten uygulamalarında hasiyeti artırmak için kullanılan metamalzeme tabanlı sensörlerin kullanımının yakın geçmişte arttığı gözlemlenmektedir (Uysal vd.,2021). Metamalzemeler negatif kırılma indeksi ve negatif dielektrik sabitleri olan doğada bulunmayıp laboratuvar ortamında üretilen malzemelerdir (Tamer, 2019). Bir çalışmada gıda alanında kullanılmak üzere tasarlanan metamalzeme tabanlı X bandında çalışan halka rezonatörlü sensör anten yağlı ve yağsız sütün tespitinde kullanılmıştır (Bakır ve Yasar, 2020). Tasarlanan sensör ile yağlı sütün 8,64 GHz 'de yağsız sütün ise 8,7 GHz 'de rezonansa girdiği gözlemlenmiştir. Belirtilen iki farklı rezonans frekansı arasındaki 60 MHz 'lik fark ile yağlı ve yağsız sütün ayrımı yapılabilmektedir. Yapılan diğer bir çalışmada çok yakın dielektrik sabitlerine sahip sıvı numunelerinin rezonans frekansında daha belirgin kaymalar elde edebilmek için metamalzeme tabanlı iletim hattı tasarlanmıştır. Tasarlanan bu sensörün ana bileşeni, metamalzemelerde temel bir bileşen olan bir Ayrık Halka Rezonatörü (AHR) olmuştur. AHR yapı ile temas ettirilen numuneler iletim hattının rezonans frekansında anlamlı bir şekilde ilişkilendirilebilecek sonuçlar ortaya koymaktadır (Withayachumnankul vd., 2013). Yapılan bir diğer çalışmada ise yüksek hassasiyetli negatif metamalzeme tabanlı iletim hattı tasarlanmıştır. Sıvıların karakterizasyonunun daha hassas sağlanabilmesi için sensör üzerinde kare spiral rezonatörler tasarlanmıştır. Rezonatör üzerine damlatılan farklı su oranlarına sahip metanol-su karışımlarının iletim oranını ve iletim frekansını değiştirdiği gözlemlenmiştir. Metanol-su karışımındaki su oranı yüzde 20'lik artışlarla yapılan ölçümlerden saf metanolün 2 GHz bandında saf su ise 1,40 GHz bandında rezonansa girdiği ve su oranının artışıyla frekansın doğrusal bir şekilde azaldığı gözlemlenmiştir (Kayal vd., 2020). Yapılan başka bir çalışmada çeşitli yağların, sıvıların ve kimyasalların tespit edilmesi için metamalzeme tabanlı sensör tasarlanmıştır (Islam vd., 2022). Bu sensör ile ölçülen zeytinyağı ve mısır yağı numuneleri arasında 10,74 dB'lik geri dönüş kaybı büyüklüğü değişimi ile 100 MHz frekans farkı gözlemlenmiştir. Dielektrik rezonatörler metamalzemelerden ilham alınarak tasarlanan sıvıların daha hassas karakterizasyonunun belirlenebilmesi için geliştirilen mikrodalga yöntemlerindedir (Iqbal vd., 2019; Omer vd., 2020; Soffiatti vd., 2018). Dielektrik rezonatörlerle yapılan bir çalışmada kimyasal sıvıların algılanması için dairesel dielektrik rezonatör tabanlı sensör anten tasarlanmıştır (Iqbal vd., 2019). Tasarlanan bu dairesel dielektrik sensör ile metanol, su, etanol, izopropil numuneleri test edilmiştir. Test edilen numuneler 4,5- 5,5 GHz frekans bölgesinde farklı frekanslarda rezonansa girdiği gözlemlenmiştir. Bu gözlemden faydalanarak numune tespiti yapılabilmektedir. Yapılan bir diğer çalışmada ise sıvı örneklerinin belirlenebilmesi için toprak yüzeyine dairesel dielektrik rezonatör eklenen mikroşerit iletim hattı uygulanmıştır (Omer vd., 2020). Tasarlanan bu dielektrik rezonatör üzerinden mikroakışkan bir kanal yardımı ile geçirilen etanol, metanol, tuzlu su, damıtılmış su, bakteriyostatik su ve glikoz numuneleri incelenmiştir. İletim oranı, yansıma genliklerinde ve rezonans frekansındaki değişimler numune örnekleri ile ilişkilendirilmiştir. Bu ilişkilendirme sayesinde incelenecek numune örneklerinin tespit edilerek kategorize edilmesi sağlanmaktadır. Bir diğer çalışmada ise metamalzeme tabanlı Tamamlayıcı Ayrık Halka Rezonatörüne (TAHR) dayalı kompakt ve oldukça hassas bir mikrodalga sensör tasarlanmıştır (Mosbah vd., 2022). Bu sensör sıvı numunelerin bulunduğu cam tüp etrafında silindirik bir yapıda tasarlanmıştır. Tasarlanan bu sensör ile etanol içerisine yüzde 10 artışlarla eklenen su oranlarının iletim ve yansıma oranında meydana getirdiği farklılıklar incelenmiştir. Yapılan bu çalışma literatürde yer alan diğer çalışmalarla kıyaslandığında yüzde yüz su ve yüzde sıfır su oranındaki karışımlarda rezonans frekansının 394,5 MHz değiştiği gözlemlenmiştir. Literatürde yapılan bir diğer çalışma ise hava basıncını algılamak için esnek ve deforme olabilen bir sıvı dielektrik rezonatör antenin tasarlanmasıdır (Low vd., 2020). Tasarlanan rezonatör içinde bulunan sıvının ortasında küçük bir hava boşluğu bulunmaktadır. Hava basıncını daha hassas algılanması için rezonatör içerisinde asetonitril ve su eklenmiştir. Rezonatör kısmına asetonitril eklenen yapının anten kazancı 2 dB daha arttığı gözlemlenmiştir. Yapılan bu çalışma sonucunda bar başına 270 MHz 'lik bir rezonans kayması meydana geldiği gözlemlenmiştir. Yarı katı malzemelerin tespiti için yapılan bir çalışmada üç halkalı tamamlayıcı bölünmüş halkalı rezonatör tabanlı 2,5 GHz 'de çalışan iletim hattı tasarlanmıştır (Al-Gburi vd., 2023). Tasarlanan bu yapının merkezinde numunelerin yerleştirilmesi için bir alan açılmıştır. Bu alan içerisine polipropilen tüp içinde zerdeçal, siyah zerdeçal, mangolu zerdeçal ve deiyonize su numuneleri test edilmiştir. Bu numunelerin S₂₁ ölçüm sonuçları zerdeçal için 2,324 GHz 'de -11,9063 dB, siyah zerdeçal 2,288 GHz 'de -11,4268 dB, mangolu zencefil 2,24 GHz 'de -11,6293 dB ve deiyonize su 2,112 GHz 'de -13,0072 dB olarak gözlemlenmiştir. Zeytin yağına karıştırılan diğer yağların tespitinin yapıldığı bir çalışmada 5,25 GHz 'de çalışan ayrık halka rezonatör yapılı iletim hattı tasarlanmıştır (Bhatti vd., 2022). Saf zeytin yağına %10'luk artışlarla eklenen hardal yağ numuneleri rezonans frekansı 4,95 GHz 'den 4,69 GHz'e kaydırıldığı belirtilmiştir. Yapılan bir diğer çalışmada sıvı karakterizasyonu belirlemek için yüksek hassasiyetli mikroşerit iletim hatlı sensör tasarlanmıştır (Parvathi ve Gupta, 2022). Su içerisine %10'luk artışlarla eklenen etanolün mikrodalga sensörün 1,4-1,6 GHz arasında iletim oranındaki değişimleri gözlemlenmiştir.

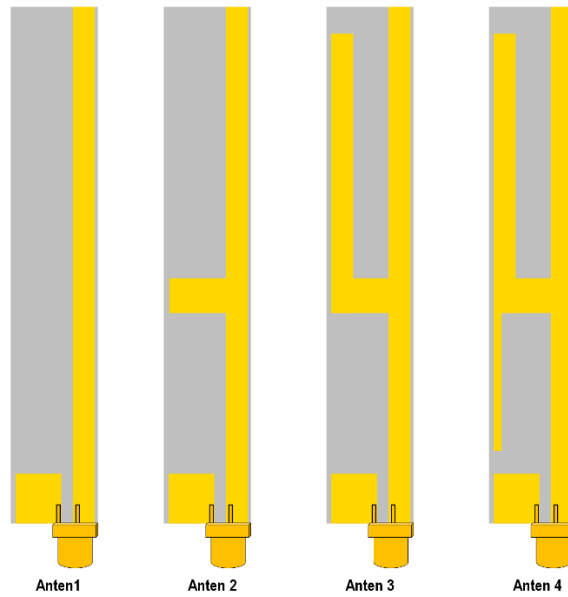
Motor yağları, ham petrolden elde edilen yağların içerisinde farklı katkı maddeleri eklenmesiyle elde edilen sıvıdır. Bu yağlar motor içerisinde bulunan hareketli metal parçaların birbirine sürtünerek ısınmasını ve aşınmasını engellemek böylelikle motor ömrünü arttırmak amacıyla kullanılır. Kritik bir öneme sahip olan ve motorun aşınmasını engelleyen bu yağların bir kullanım süresi bulunmaktadır. Üretici firmalar motor kullanılan motora göre ortalama değişim süreleri öngörmektedir (Cebeci,2022). Motor yağının değişimi için ortalama kullanım süreleri olsa da aracın kullanım durumuna göre ve kullanıldığı mevsime göre motor yağının değişim süreleri

değişebilmektedir. Motor yağının ömrünün tespitinin yapılması için geçmişte yapılan bir çalışmada yağ seviyesinin kontrol edildiği ve motor yağ çubuğunun yerine tasarlanan bir monopul anten önerilmiştir (Kopmaz, 2020). Böylelikle hem motor yağının ömrünün hem de motor yağının seviyesinin belirlenmesini sağlanmıştır. Tasarlanan bu anten ile kullanılmamış motor yağ (MY), 5000 KM kullanılmış MY ve 10000 km kullanılmış motor yağ numunelerinin içerisinde ölçümler gerçekleştirildiği gözükmektedir. Motor yağının farklı miktardaki ve farklı kullanıma durumları için yapılan ölçümlerde 360 MHz rezonans frekansında ve -12 dB sınırında hesaplanan bant genişliği ile motor yağının ömrü ve miktarı ilişkilendirmeye çalışılmıştır. Yapılan bu çalışmada tasarlanan monopul antenin uzunluğunun fazla olmasından dolayı antenin çalışma frekansı düşük olduğu için motor yağının ömrünün hassas bir düzeyde tespit edilmesi çok mümkün olmadığı anlaşılmaktadır. Oysa literatürdeki çalışmalarda birbirine çok yakın değerlerdeki dielektrik özelliklere sahip sıvıların karşılaştırılması veya ayırt edilebilmesi için genellikle yüksek hassasiyetli RF/mikrodalga frekanslarda devre tasarımları gerçekleştirilmektedir (Bakır vd., 2019; Dalgaç vd., 2021; Dinçer vd., 2017; Kuzu, 2019). Motor yağının tespiti için yapılan bir diğer çalışmada ise metalmalzeme tabanlı dairesel halka rezonatörler kullanılarak bir sensör tasarlanmıştır (Dalgaç vd., 2021). X bandında çalışan bu sensör ile temiz ve 10000 km kullanılmış MY ölçümlerinin gerçekleştirildiği gözükmektedir. Tasarlanan bu sensör ile yapılan ölçümlerde temiz ve 10000 km kullanılmış motor yağının rezonans frekansında 20 MHz 'lık bir değişim elde edildiği anlaşılmaktadır.

Bu makale ile önerilen sensör anten çalışması ile geçmişte yapılmış çalışmalardaki eksikliklerin giderilmesi ve yeni bir ölçüm sisteminin gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla sensör olarak Asimetrik Eş-düzlemsel Şerit beslemeli (AEŞ) anten tasarımı gerçekleştirilmiştir. Tasarımın AEŞ yapısında seçilmesindeki en önemli sebep geçmiş çalışmalarda motor yağ uygulamalarında uygulama zorluklarının ve seviye ölçümlerindeki kısıtların ortadan kaldırılmak istenmesidir. Bu çalışma ile tasarlanan yeni sensör anten ile aynı markanın iki farklı kullanım ömrüne sahip numuneleri hem MY seviyesinin belirlenmesi hem de MY kullanım ömrünün tespiti için benzetim ve ölçümler gerçekleştirilmiştir.

2. Sensör Anten Tasarımı (Sensor Antenna Design)

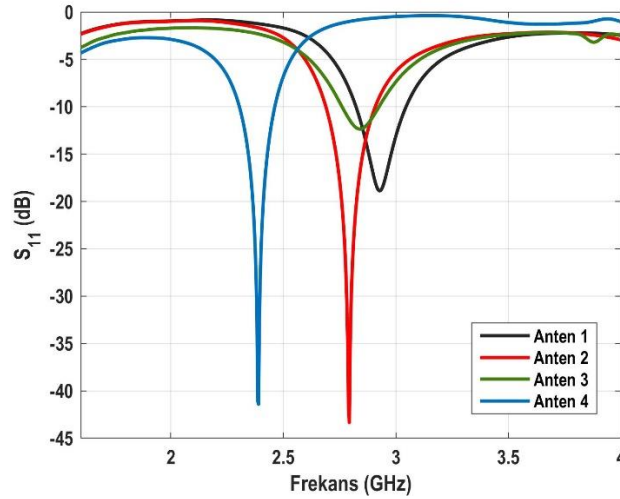
Bu çalışmada motor yağ ömrü tespiti için sensör olarak AEŞ beslemeli bir mikroşerit anten tasarımı gerçekleştirilmiştir. Anten tasarımı için dielektrik sabiti $\epsilon_r = 2,55$, kalınlığı $h = 0,762 \text{ mm}$, boyutları $12 \times 80 \text{ mm}^2$, kayıp tanjantı $\tan \delta = 0,0013$ olan Rogers AD255C taban malzemesi kullanılmıştır. Şekil 1 ile gösterilen antenin besleme hattı; toprak düzlem ile arasında $0,6 \text{ mm}$ boşluklu, genişliği $w_2=3 \text{ mm}$ eş-düzlemsel besleme benzeri bir teknik olan AEŞ besleme kullanılarak tasarlanmıştır. Önerilen anten ve tasarımlar için bir elektromanyetik simülasyon yazılımı olan CST Microwave Studio kullanılmıştır. Önerilen antenin oluşturulabilmesi için gerçekleştirilen tasarım aşamaları Şekil 1. ile gösterilmiştir



Şekil 1. Sensör Anten Tasarım Aşamaları (Sensor Antenna Design Stages)

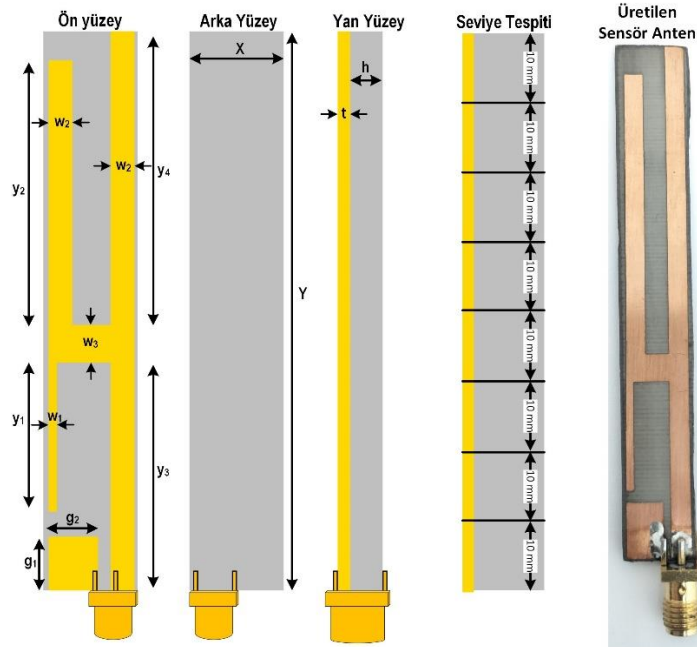
Önerilen sensör antenin oluşturulabilmesi için 4 farklı anten tasarımı aşaması gerçekleştirilmiştir. Bu aşamalarda anten çalışma frekansının anlaşılabilmesi için 4 farklı simülasyon gerçekleştirilmiştir. Şekil 1 ile gösterilen antenlerden, Anten 4 bu çalışma için önerilen antendir. Şekil 2 önerilen antenin oluşturulması sürecinde

tasarlanan Anten 1, Anten 2, Anten 3 ile önerilen anten olan Anten 4 tasarımına ait geri dönüş kaybı benzetim sonuçlarını göstermektedir.



Şekil 2. Anten Tasarım Sürecinde Gerçekleştirilen Tasarımlara Ait Geri Dönüş Kaybı (S_{11}) Grafikleri (Return Loss (S_{11}) Graphs for the Designs Realized in the Antenna Design Process)

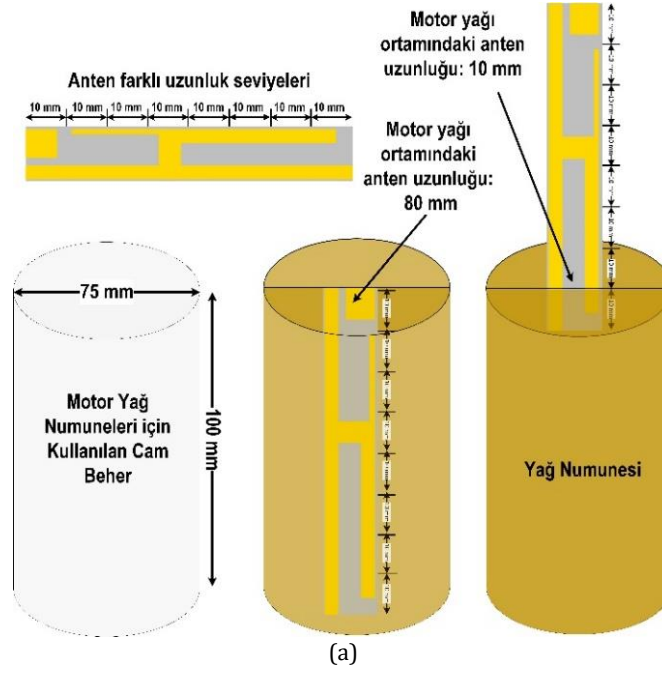
Şekil 2 tasarım süreçlerinde tasarlanan antenlerle elde edilen çalışma frekansları ve geri dönüş kaybı benzetim sonuçlarının sırasıyla Anten 1 için 2,9 GHz ile -18,81 dB, Anten 2 için 2,8 GHz ile -43 dB, Anten 3 için 2,84 GHz ile -12 dB, bu çalışma için önerilen Anten 4 için 2,39 GHz ile -41 dB olduğu gösterilmiştir. Çalışma frekansı, yağ seviye ölçüm kriterleri ve çalışma ortamına uygunluğu için fiziksel uzunluklar düşünülerek bu çalışma için Anten 4 önerilmiştir. Önerilen antenin ön ve arka yüzeylerini ve fiziksel uzunluklarını içeren ayrıntılı çizimi Şekil 3 ile gösterilmektedir.



Şekil 3. Önerilen Anten Ön, Arka ve Yan Yüzeylerine Ait Geometri ve Fiziksel Parametreleri ile Üretilen Anten Görüntüsü (The Figure of Produced Antenna by Geometry and Physical Parameters of the Proposed Antenna Front, Back, and Side Surfaces)

Tasarlanan antenin optimize edilmiş tasarım parametre değerleri $w_1=1,1$ mm, $w_3=4$ mm, $g_1=8$ mm, $g_2=5,6$ mm, $y_1=16$ mm, $y_2=45$ mm, $y_3=26$ mm, $y_4=50$ mm, $h=0,762$ mm, $t=0,035$ mm, $X=12$ mm, $Y=80$ mm olarak verilmiştir. Şekil 4 tasarlanan antenin ölçüm yapılacak motor yağı ortamını ve antenin motor yağı içerisindeki konumunun değişimini ve anten düzeneğini göstermektedir. Önerilen anten 10 mm aralıklarla 8 eşit bölmeyle ayrılarak, her bir bölmedeki seviye için Şekil 4 ile gösterilen yağ ortamında ölçümler gerçekleştirilmiştir. Bu düzeneğe yağ ortamındaki antenin geri dönüş kaybı (S_{11}), yağ içerisindeki 8 farklı anten seviyesi için ölçülmüştür. Böylece geri dönüş kaybı değişimindeki farklar ortaya çıkarılarak en uygun değişimi sağlayan seviye için çalışma frekansı

tespit edilmiştir. Ölçümlerde kullanılan yağ ortamı için iki farklı numune test edilmiştir. Bu iki farklı numune için Motul 5W-30 motor yağının hiç kullanılmamış (0 km) ve 1.6 vvti motor ile 10000 km kullanılmış örnekleri tercih edilmiştir.



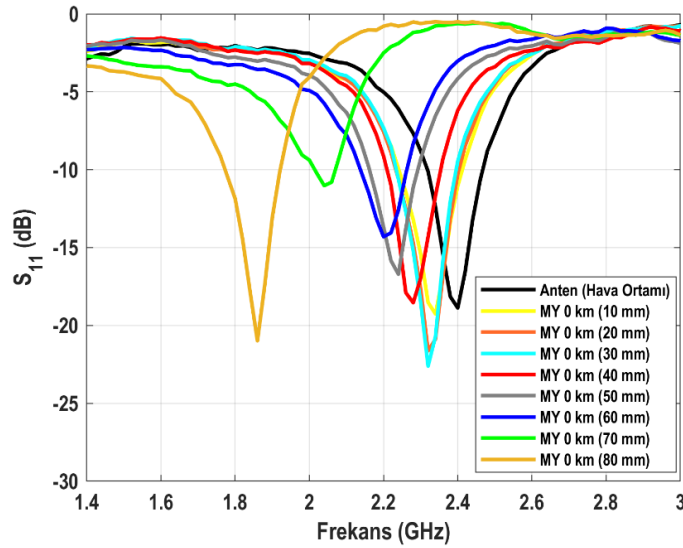
Şekil 4. Geri Dönüş Kaybı Ölçümleri İçin Motor Yağı Numune Ortamı ve Önerilen Antenin Motor Yağı İçerisindeki Farklı Uzunluk Seviyeleri(a) ile Sensör Ölçüm Düzeneği (b) (Engine Oil Sample Medium for Return Loss Measurements and Sensor Measurement Setup (b) with Different Length Levels of the Proposed Antenna in Engine Oil (a))

Önerilen antenin 8 farklı yükseklik seviyesi için motor yağı içerisine yerleştirilerek her bir anten uzunluk seviyesinde geri dönüş kaybı ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bu sayede motor yağ seviyesi ve kullanılmış yağ ile hiç kullanılmamış yağ arasındaki geri dönüş kaybı değerlerindeki değişim incelenmiştir.

3. Anten Benzetim ve Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi (Evaluation of Antenna Simulation and Measurements)

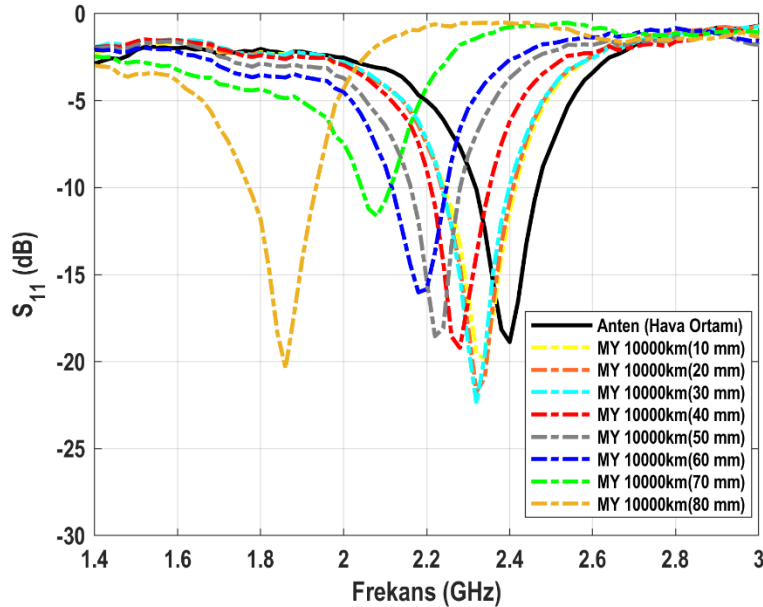
Bu çalışma ile Şekil 4 ile verilen düzeneğe 0 km ve 10000 km kullanıma sahip motor yağı (MY) numuneleri yerleştirilerek, tasarlanan sensör antenin bu numuneler içerisindeki farklı uzunluk seviyeleri için 1,4 GHz ile 3 GHz arasında geri dönüş kaybı (S_{11}) ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bu ölçümler antenin 8 farklı uzunluk seviyesi için her iki MY numunesinde ayrı ayrı elde edilmiştir. Şekil 5, önerilen sensör antenin boş hava ortamındaki geri

dönüş kaybı ve hiç kullanılmamış MY içerisinde antenin 0-80 mm arasında 10 mm aralıklarla değişen uzunluk seviyelerindeki 8 farklı geri dönüş kaybı (S_{11}) ölçümlerini göstermektedir.



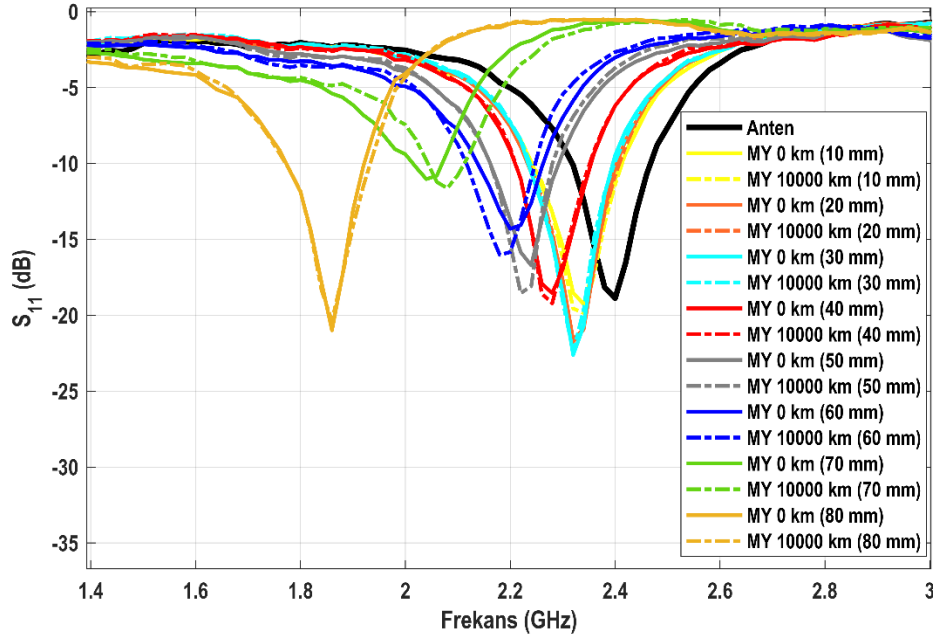
Şekil 5. Hiç Kullanılmamış (0 km) MY İçerisindeki Antenin Farklı Uzunlukları İçin Geri Dönüş Kaybı Ölçüm Grafikleri (Return Loss Measurement Graphs for Different Lengths of Antenna in Brand-New (0 km) EO)

Ölçümler için Rohde & Schwarz marka FSH6 model spektrum analizör kullanılmıştır. Şekil 6 ile 1.6 motor hacmine sahip bir aracın 10000 km sonrası yağ değişimi sırasında alınmış bir yağ numunesi içerisinde antenin farklı uzunluk seviyelerindeki değerleri için 1,4 GHz ile 3 GHz arasındaki geri dönüş kaybı ölçümleri gösterilmektedir. Ayrıca antenin boş hava ortamındaki geri dönüş kaybı ölçüm sonucu da bu grafik ile gösterilmektedir.



Şekil 6. 10000 km MY İçerisindeki Antenin Farklı Uzunlukları İçin Geri Dönüş Kaybı Ölçüm Grafikleri (Return Loss Measurement Graphs for Different Lengths of Antenna within 10000 km EO)

Şekil 5 ve şekil 6, 0 km ve 10000 km kullanıma sahip motor yağlarının tasarlanan sensör anten ile elde edilen s-parametre sonuçlarını göstermektedir. Bu sonuçlar bu sensör antenin farklı sıvı derinliklerinde birbirinden farklı rezonans frekansı ve geri dönüş kaybı değerlerine sahip olduğunu göstermektedir. Bu sayede motor içerisindeki yağ seviye tespitinin yapılabilmesi mümkündür. Şekil 7 ile verilen grafikte 0 ve 10000 km MY içerisinde antenin farklı uzunluklarındaki S-parametreleri birlikte verilmiştir.



Şekil 7.0 ve 10000 km MY İçinde Antenin Farklı Uzunluk Seviyelerinde Geri Dönüş Kaybı Ölçüm Grafiği (Return Loss Measurement Graph at Different Length Levels of the Antenna at 0 and 10000 km EO)

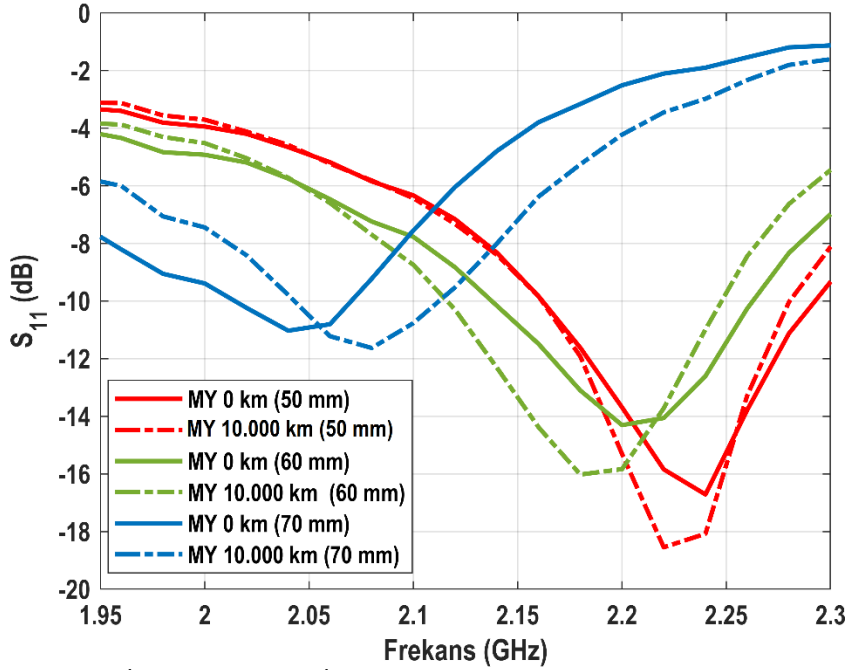
Şekil 7 ile gösterilen grafiğe bakıldığında 0 ve 10000 km MY içindeki antenin 20, 30 ve 80 derinlik seviyeleri için geri dönüş kaybında değişimin çok düşük değerlerde olduğu, 50, 60 ve 70 mm uzunluk seviyelerinin bulunduğu 2- 2,3 GHz bandında geri dönüş kaybı değişiminin hem frekans hem de geri dönüş kaybı oranı açısından diğer uzunluk değerlerine göre daha fazla değiştiği anlaşılmaktadır. Tablo 1 0 km ve 10000 km kullanıma sahip motor yağlarının Şekil 7'deki grafikten okunabilecek bant genişliği ve geri dönüş kaybı oranlarını 8 farklı sıvı derinliği için nümerik olarak göstermektedir.

Tablo 1. Farklı Kullanım Mesafelerine Sahip Motor Yağ Numunelerinin Ölçümünde Kullanılan Sensör Antenin Farklı Sıvı Seviyelerindeki Rezonans Frekansı ve Bant Genişliği Parametrelerinin Karşılaştırılması (Comparison of Resonance Frequency and Bandwidth Parameters at Different Fluid Levels of a Sensor Antenna for Measurement of Engine Oil Samples with Different Operating Distances)

Anten Ölçüm Parametreleri	MY İçerisindeki Anten Uzunluğu (mm)							
	10	20	30	40	50	60	70	80
(MY-0 km) Rezonans frekansı (GHz)	2,34	2,32	2,32	2,28	2,24	2,20	2,04	1,86
(MY-0 km) S_{11} (dB)	-19,26	-21,63	-22,61	-18,54	-16,71	-14,31	-11,03	-20,99
(MY-10000km) S_{11} (dB)	-19,85	-21,74	-22,43	-19,21	-18,08	-15,83	-9,78	-20,99
(MY-0 km) Bant Genişliği (MHz)	180	170	170	160	140	120	50	140
(MY-10000 km) Rezonans frekansı (GHz)	2,34	2,32	2,32	2,28	2,22	2,18	2,08	1,86
(MY-10000 km) S_{11} (dB)	-19,85	-21,74	-22,43	-19,21	-18,55	-16,02	-11,63	-20,38
(MY-0 km) S_{11} (dB)	-19,26	-21,63	-22,61	-18,54	-15,84	-13,01	-9,22	-20,38
(MY-10000 km) Bant Genişliği (MHz)	180	160	160	140	120	130	80	160

Tablo 1. ile gösterilen değerlere bakıldığında sensör antenin 0 km ve 10000 km MY'leri içerisindeki 8 farklı uzunluk seviyesi için rezonans frekansı sadece 60 mm ile 70 mm de sırasıyla 20 MHz ve 40 MHz değiştiği anlaşılmıştır. Buradan yola çıkarak bu uzunluk seviyeleri için MY ömrünün tespitinde kullanılabileceği çıkarımı yapılabilir. Diğer MY içerisindeki farklı uzunluk seviyeleri için rezonans frekansının her numune için ayrı ayrı değerlendirildiğinde anlamlı bir değişimin olduğu gözükmemektedir. Sensör antenin 10 mm uzunluk değeri için 0 km MY numunesinde 2,34 GHz olan rezonans frekansı 80 mm için 1,86 GHz değerine düşmüştür. Fakat antenin MY içerisindeki 20 mm ile 30 mm ölçümlerinde rezonans frekansının değişmediği anlaşılmaktadır. Şekil 8'de bulunan

grafikte 0 ve 10000 km MY içerisinde antenin farklı uzunluklarındaki S-parametrelerinin 2-2,3 GHz bandında bulunan 50, 60, 70 mm derinlik seviyelerinin S-parametreleri verilmiştir.



Şekil 8. 0 ve 10000 km MY İçin Yağ Numunesi İçerisindeki En Verimli Sensör Uzunluklarında Geri Dönüş Kaybı Ölçüm Grafiklerinin Karşılaştırılması (Comparison of Return Loss Measurement Graphs at the Most Efficient Sensor Lengths in the Oil Sample for 0 and 10000 km EO)

Şekil 8 ile verilen grafiğe bakıldığında 0 ve 10000 km kullanılmış motor yağ numuneleri için 50 mm derinlik seviyesinde 2,22 GHz frekansında 2,71 dB, 60 mm derinlik seviyesinde 2,18 GHz frekansında 3,01 dB ve 70 mm derinlik seviyesinde 2,08 GHz frekansında 2,41 dB farkların olduğu anlaşılmaktadır.

4. Sonuçlar ve Tartışma (Results Discussion)

Motor yağları, aracın hareketli parçalarından biri olan motor için büyük önem arz etmektedir. Motor içerisine hava ve yakıt ile metal parçacıklar, tortular ve motora zarar verebilecek çeşitli maddeler girebilmektedir. Ayrıca motorun çalışmasına bağlı olarak da kullanım özelliğinin yitiren motor yağının değiştirilmesi, motorun daha verimli çalışabilmesi ve ömrünün daha uzun olabilmesi için gerekmektedir. Geleneksel olarak motor yağının değiştirilme süreleri bulursa da aracın kullanımına bağlı olarak bu süreden çok daha önce değiştirilmesi gerektiği durumlar oluşabilmektedir. Bu çalışmada da MY ömrünün ve MY seviyesinin tespit edilebilmesi için bir sensör tasarımı ve bu sensör ile iki farklı numunenin ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda asimetrik eş-düzlemsel şerit beslemeli mikroşerit antenin tasarım aşamaları da verilerek 2,40 GHz 'de rezonans frekansına sahip bir anten tasarlanmıştır. Tasarlanan anten kullanılmamış motor yağı (0 km) ve 10.000 km kullanılmış motor yağı içerisine farklı anten seviyelerde çalıştırılarak MY içerisindeki en hassas değişimlerin olduğu anten uzunlukları tespit edilmiştir. Sensör antenin MY numunesi içerisinde 60 mm'de 2,18 GHz 'de elde edilen verilere göre temiz (0 km) ve 10000 km kullanılmış motor yağ numunesi arasında 3,01 dB fark olduğu gözlemlenmiştir. Böylelikle MY ömrü tespiti için MY içerisindeki en uygun uzunluk değerlerinin 60 mm olduğu belirlenmiştir. Ayrıca aynı sensör anten ile MY içerisinde 10-80 mm uzunluk seviyeleri için yapılan ölçümlerde rezonans frekansının 2,34-1,86 GHz arasında MY içerisindeki antenin seviyesine bağlı olarak değiştiği tespit edilmiştir. Bu çalışma ile sıvı seviye tespitinin ve MY ömrünün belirlenebileceği sonucuna varılmıştır.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

Kaynaklar (References)

- Abdelwahab, H., Ebrahimi, A., Tovar-Lopez, F. J., Beziuk, G., & Ghorbani, K. (2021). Extremely sensitive microwave microfluidic dielectric sensor using a transmission line loaded with shunt LC resonators. *Sensors*, *21*(20), 6811.
- Abdulkarim, Y. I., Deng, L., Karaaslan, M., Altıntaş, O., Awl, H. N., Muhammadsharif, F. F., Liao, C., Unal, E., & Luo, H. (2020). Novel metamaterials-based hypersensitized liquid sensor integrating omega-shaped resonator with microstrip transmission line. *Sensors*, *20*(3), 943.
- Akgöl, O. (2018). PCB Dairesel Yama Anten Tabanlı Etanol ve Metanol Algılayıcı Tasarımı. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, *33*(2), 287-296.
- Al-Gburi, A. J. A., Rahman, N. A., Zakaria, Z., & Palandoken, M. (2023). Detection of Semi-Solid Materials Utilizing Triple-Rings CSRR Microwave Sensor. *Sensors*, *23*(6), 3058.
- Al-Mudhafar, A. A., & Ra'ed, A. M. (2022). High-Precise Microwave Active Antenna Sensor (MAAS) formulated for sensing liquid properties. *Sensors and Actuators A: Physical*, *341*, 113567.
- Bakır, M., Dalgac, Ş., Karaaslan, M., Karadağ, F., Akgöl, O., Unal, E., Depci, T., & Sabah, C. (2019). A comprehensive study on fuel adulteration sensing by using triple ring resonator type metamaterial. *Journal of the Electrochemical Society*, *166*(12), B1044.
- Bakır, M., & Yaşar, İ. (2022). Metamalzeme Tabanlı Hassas Süt ve Sıvı Sensörü Uygulaması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, *10*-16.
- Bhatti, M. H., Jabbar, M. A., Khan, M. A., & Massoud, Y. (2022). Low-cost microwave sensor for characterization and adulteration detection in edible oil. *Applied Sciences*, *12*(17), 8665.
- Bouchalkha, A., & Karli, R. (2019). Planar Microstrip Antenna Sensor for pH Measurements. 2019 International Conference on Electrical and Computing Technologies and Applications (ICECTA).
- Cebeci, T. Motor Yağı Analiz Yöntemi İle Motor Yağı Kullanım Sürelerinin İyileştirilmesi. (2022). *Soma Meslek Yüksekokulu Teknik Bilimler Dergisi*, *1*(33), 24-35.
- Chuma, E. L., Iano, Y., Fontgalland, G., & Roger, L. L. B. (2018). Microwave sensor for liquid dielectric characterization based on metamaterial complementary split ring resonator. *IEEE Sensors Journal*, *18*(24), 9978-9983.
- Dalgac, S., Akdoğan, V., Kiris, S., Incesu, A., Akgöl, O., Unal, E., Basar, M. T., & Karaaslan, M. (2021). Investigation of methanol contaminated local spirit using metamaterial based transmission line sensor. *Measurement*, *178*, 109360.
- Dalgac, Ş., Karadağ, F., Bakır, M., Akgöl, O., Ünal, E., & Karaaslan, M. (2021). Chiral metamaterial-based sensor applications to determine quality of car lubrication oil. *Transactions of the Institute of Measurement and Control*, *43*(7), 1640-1649.
- Diñçer, F., Delihacıoğlu, K., Tümkaya, M. A., Karaaslan, M., & Sabah, C. (2017). Akaryakıt sektörü için metamalzeme tabanlı sensör tasarımı ve uygulaması.
- Groumpas, E. I., Koutsoupidou, M., & Karanasiou, I. S. (2022). Biomedical Passive Microwave Imaging and Sensing: Current and future trends [Bioelectromagnetics]. *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, *64*(6), 84-111.
- Iqbal, A., Smida, A., Saraereh, O. A., Alsafasfeh, Q. H., Mallat, N. K., & Lee, B. M. (2019). Cylindrical dielectric resonator antenna-based sensors for liquid chemical detection. *Sensors*, *19*(5), 1200.
- Islam, M. R., Islam, M. T., Bais, B., Almalki, S. H., Alsaif, H., & Islam, M. S. (2022). Metamaterial sensor based on rectangular enclosed adjacent triple circle split ring resonator with good quality factor for microwave sensing application. *Scientific reports*, *12*(1), 6792.
- Kayal, S., Shaw, T., & Mitra, D. (2020). Design of metamaterial-based compact and highly sensitive microwave liquid sensor. *Applied Physics A*, *126*(1), 1-9.
- Kopmaz, C. (2020). *Anten tabanlı mikrodalga sensörlerin çeşitli alanlardaki uygulamaları* İskenderun Teknik Üniversitesi/Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü ...].
- Kuzu, A. (2019). *PCB dikdörtgen yama anten ve monopol anten tabanlı çok amaçlı sıvı sensörü uygulamaları* İskenderun Teknik Üniversitesi/Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü ...].
- Lee, K., Hassan, A., Lee, C. H., & Bae, J. (2017). Microstrip patch sensor for salinity determination. *Sensors*, *17*(12), 2941.
- Lopato, P., & Herbko, M. (2018). A circular microstrip antenna sensor for direction sensitive strain evaluation. *Sensors*, *18*(1), 310.
- Low, J.-H., Chee, P.-S., Lim, E.-H., & Lee, K.-Y. (2020). Compact organic liquid dielectric resonator antenna for air pressure sensing using soft material. *Scientific reports*, *10*(1), 1-10.
- Meyne, N., Cammin, C., & Jacob, A. F. (2014). Accuracy enhancement of a split-ring resonator liquid sensor using dielectric resonator coupling. 2014 20th International Conference on Microwaves, Radar and Wireless Communications (MIKON).
- Meyne, N., Latus, S., & Jacob, A. F. (2014). Corrugated coplanar transmission-line sensor for broadband liquid sample characterization. GeMiC 2014; German Microwave Conference.
- Mosbah, S., Zebiri, C., Sayad, D., Elfergani, I., Bouknia, M. L., Mekki, S., Zegadi, R., Palandoken, M., Rodriguez, J., & Abd-Alhameed, R. A. (2022). Compact and Highly Sensitive Bended Microwave Liquid Sensor Based on a Metamaterial Complementary Split-Ring Resonator. *Applied Sciences*, *12*(4), 2144.
- née Haase, N. M., Fuge, G., Trieu, H. K., Zeng, A.-P., & Jacob, A. F. (2015). Miniaturized transmission-line sensor for broadband dielectric characterization of biological liquids and cell suspensions. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, *63*(10), 3026-3033.
- Omer, A. E., Shaker, G., Safavi-Naeini, S., Ngo, K., Shubair, R. M., Alquie, G., Deshours, F., & Kokabi, H. (2020). Multiple-cell microfluidic dielectric resonator for liquid sensing applications. *IEEE Sensors Journal*, *21*(5), 6094-6104.
- Parvathi, K. S., & Gupta, S. R. (2022). Ultrahigh-sensitivity and compact EBG-based microwave sensor for liquid characterization. *IEEE Sensors Letters*, *6*(4), 1-4.
- Sanders, J. W., Yao, J., & Huang, H. (2015). Microstrip patch antenna temperature sensor. *IEEE Sensors Journal*, *15*(9), 5312-5319.

- Soffiatti, A., Max, Y., G. Silva, S., & M. de Mendonça, L. (2018). Microwave metamaterial-based sensor for dielectric characterization of liquids. *Sensors*, 18(5), 1513.
- Tamer, A. (2019). *İletim hatları ve metalmalzemeler kullanılarak legal-illegal benzin ve mazot ayrıştırılması* İskenderun Teknik Üniversitesi/Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü ...].
- Uysal, E., Ercek, E., Sabah, C., Nesimoğlu, T. (2021). Kıbrıs, O. D. T. Ü. K., & Kampusu, E.-E. M. B. Varaktör Diyotlar ile Yüksek Oranda Frekansı Ayarlanabilir Elmas Şekilli Metalmalzeme Rezonatör.
- Withayachumnankul, W., Tuantranont, A., Fumeaux, C., & Abbott, D. (2013). Metamaterial-based microfluidic sensor for dielectric characterization. *Sensors and Actuators A: Physical*, 189, 233-237.
- Zhu, L., Li, W., Han, X., & Peng, Y. (2020). Microfluidic flexible substrate integrated microstrip antenna sensor for sensing of moisture content in lubricating oil. *International Journal of Antennas and Propagation*, 2020.



GİRESUN KALİTE ORGANİK VE KONVANSİYONEL TOMBUL FINDIKLARIN MEYVE KALİTESİ İLE GEOMETRİK VE RENK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Hasan KARAOSMANOĞLU^{1*}

¹Giresun Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Fındık Ekspertliği Programı, Giresun, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Fındık,
Fiziksel Özellikler,
Organik Fındık,
Organik Gıda,
Giresun Kalite.

Öz

Bu çalışma organik ve konvansiyonel yöntemlerle yetiştirilen Giresun Kalite Tombul fındık çeşidinin meyve, fiziksel ve renk özelliklerinin belirlenmesi ve karşılaştırılması amacıyla yapılmıştır. Bu amaçla fındıkların meyve ve içlerinin uzunluğu, genişliği, kalınlığı, şekil indeksi, büyüklüğü (Dg), yuvarlaklığı (Φ), yüzey alanı (S), hacmi (V), iç oranı ve beyazlama oranı gibi fiziksel özelliklerinin yanı sıra L^* , a^* , b^* , hue , $kroma$ gibi renk özellikleri incelenmiş ve renk skalası oluşturulmuştur. Çalışma sonuçlarına göre organik fındıkların randıman (organik: %55.68, konvansiyonel: %54.26) ve beyazlama oranlarının (organik: %96.00, konvansiyonel: %90.00) konvansiyonele kıyasla daha yüksek olması dışında diğer fiziksel özelliklerde farklılıklar istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. İç fındık ve unlarında üretim yöntemleri arasında renk özellikleri açısından farklılık görülmezken, organik fındıkların kabuklarının biraz daha parlak ve yoğun bir renge sahip olduğu görülmüştür. Sonuç olarak tüketici algısı ve market değeri üzerinde önemli etkisi olan meyve boyutları ve renk değerlerine, organik ve konvansiyonel üretim yöntemlerinin önemli bir etkisinin olmadığı ve organik üretilen fındığın incelenen özellikler açısından konvansiyonel üretime kıyasla kalite kaybı yaşamadığı sonucuna varılmıştır.

DETERMINATION OF NUT QUALITY, GEOMETRIC AND COLOR CHARACTERISTICS OF GİRESUN QUALITY ORGANIC AND CONVENTIONAL TOMBUL HAZELNUTS

Keywords

Hazelnut,
Physical Properties,
Organic Hazelnut,
Organic Food,
Giresun Quality.

Abstract

This study was carried out to determine and compare the nut, physical and color characteristics of Giresun Quality Tombul hazelnut cultivar grown by organic and conventional methods. For this purpose, besides the physical properties such as the length, width, thickness, shape index, geometric mean diameter (Dg), sphericity (Φ), surface area (S), volume (V), kernel percentage, bleaching rates of the fruit and kernels of hazelnuts, such as L^* , a^* , b^* , hue , $chroma$, etc. color properties were examined and a color scale was created. According to the results of the study, there was no statistically significant difference in other physical properties apart from the fact that the kernel percentage (organic: %55.68, conventional: %54.26) and bleaching rates (organic: %96.00, conventional: %90.00) of organic hazelnuts were higher than those of conventional hazelnuts. While there was no difference in terms of color characteristics between the production methods of hazelnut kernels and flour, it was observed that the shells of organic hazelnuts had a slightly brighter and more intense color. As a result, it has been seen that organic and conventional production methods do not have a significant effect on nut sizes and color values, which have a significant effect on consumer perception and market value. It was concluded that organically produced hazelnuts did not experience quality loss compared to conventional production in terms of the examined properties.

Alıntı / Cite

Karaosmanoğlu, H., (2023). Organik ve Konvansiyonel Yöntemlerle Üretilen Giresun Kalite Tombul Fındıkların Meyve Kalitesi İle Geometrik Ve Renk Özelliklerinin Belirlenmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(3), 916-924.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

H. Karaosmanoğlu, 0000-0002-4652-9861

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	28.04.2022
Revizyon Tarihi / Revision Date	25.04.2023
Kabul Tarihi / Accepted Date	04.05.2023
Yayın Tarihi / Published Date	28.09.2023

* İlgili yazar / Corresponding Author: hasan.karaosmanoglu@giresun.edu.tr, +90-454-310-1500

DETERMINATION OF NUT QUALITY, GEOMETRIC AND COLOR CHARACTERISTICS OF GİRESUN QUALITY ORGANIC AND CONVENTIONAL TOMBUL HAZELNUTS

Hasan KARAOŞMANOĞLU[†]

Giresun University, Technical Vocational School, Hazelnut Expertise Programme Giresun/Turkey

Highlights

- Organic hazelnuts had higher kernel percentage
 - Organic hazelnuts had higher bleaching rates (skin removal)
 - While the shells of organic hazelnuts were brighter, there was no difference between kernels
-

Purpose and Scope

In this study, some fruit quality characteristics, nut sizes and color values of Giresun Quality Tombul hazelnut cultivars produced with organic and conventional farming systems were investigated.

Design/methodology/approach

In this study, the dimensions of organic and conventional shelled and natural hazelnut kernels were measured with a digital caliper, and nut quality characteristics such as kernel percentage and bleaching were determined. The color values (L, a, b, chroma, hue) of in-shell, natural kernels and flours were determined by color determination device.

Findings

It was determined that the kernel percentage (organic: 55.68%, conventional: 54.26%) and bleaching rates (organic: 96.00%, conventional: 90.00%) of hazelnuts grown by organic method were higher than those grown by conventional system. Differences in other physical properties were not statistically significant. It has been observed that the shells of organic hazelnuts have a slightly brighter and more intense color. There was no difference between the production methods of hazelnut kernels and flours in terms of color characteristics.

Social Implications

Hazelnut cultivation is carried out intensively on the coastline of the Black Sea Region (Turkey). In the production process, too many chemical inputs are used uncontrollably, which threatens the health of the producer as well as threatening food and environmental safety. Therefore, increasing organic hazelnut cultivation should be encouraged.

Originality

The demand for healthier food has increased in recent years with the increasing awareness among consumers of the relationship between nutrition and healthy life. In order to meet this need, the interest in organic foods, which are thought to have superior properties, has been increasing in recent years. This study is original in terms of examining the behavior of some characteristics of Giresun Quality Tombul hazelnuts, which is the most important Turkish hazelnut variety, under organic conditions.

1. Giriş (Introduction)

Organik tarım uygulamaları, sosyal, ekolojik ve ekonomik olarak sürdürülebilir gıda üretimi için biyolojik çeşitliliği, biyolojik döngüleri ve toprak biyolojik aktivitesini geliştirmeyi amaçlayan tarım sistemidir (Samman vd., 2008). Konvansiyonel tarımda sıkça kullanılan pestisitler, gübreler gibi kimyasal girdilerin kullanımı organik tarımda yasaklanmıştır (Soares vd., 2013). Birçok tüketici organik gıdaların daha güvenilir bir çevrede yetiştirilmesinden dolayı daha sağlıklı olduğuna inanmakta (Özçelik vd., 2022) ve daha pahalı olmasına rağmen organik gıdaları tercih etmektedir (Reche vd., 2019). Organik gıdalara olan talep tüketicilerdeki bu algı nedeniyle sürekli artmaktadır (Maggio vd., 2013). IFOAM ve FIBL (2023) verilerine göre 2021 yılında dünyadaki organik tarım alanları 76.4 milyon hektara, 2000 yılında 15.1 milyar Euro olan organik gıda pazarı da yaklaşık 8 kat artarak 124.8 milyar euro'ya ulaşmıştır.

Bitkiler aleminde, *Fagales* takımı *Betulaceae* familyası içinde yer alan, *Corylus* cinsi içerisinde yer alan fındığın anavatanı Anadolu'dur (Karaosmanoğlu ve Üstün, 2019). Yıllık 1.10.000 ton (2020 yılı) üretimin gerçekleştiği fındık sektöründe, toplam üretiminin % 61'ini gerçekleştiren Türkiye en önemli üretici konumundadır (665.000

[†] Corresponding Author: hasan.karaosmanoglu@giresun.edu.tr, +90-454-310-1500

ton). Üretim miktarı bakımından en önemli ÷lke olan Türkiye'yi (Tunç Dede, 2019) sırasıyla İtalya (%13), ABD (%6), Azerbaycan (%4), Gürcistan (%3) Şili (%3) ve Çin (%2) takip etmektedir (FAO, 2022).

Fındık ekonomik öneminin yanı sıra insan sağlığı ve beslenmesinde özel yağ bileşimi, protein, karbonhidrat, diyet lifi, vitaminler, mineraller, fitosteroller, skualen ve antioksidan fenoller nedeniyle önemli bir yere sahiptir (Alasalvar vd., 2003; Oliveira vd., 2008). Koroner kalp hastalığı riskini azaltmak için European Food Safety Authority (EFSA) fındığında içinde bulunduğu kuruyemişlerin günlük 32.5 g tüketilmesini önermektedir (European Food Safety Authority, 2011).

Türkiye'de tescilli 20 fındık çeşidi bulunmaktadır (TTSM, 2023). Bu çeşitler içerisinde Tombul, meyve kalite özellikleri ile ön plana çıkmaktadır ve en kaliteli fındık çeşidi olarak kabul edilmektedir (Balık vd., 2015). Aroması, yağ içeriği, beyazlama oranı ve lezzeti oldukça yüksektir. Tombul fındık çeşidi bu özelliklerini Giresun ekolojik koşullarında ortaya koymakta olup, Giresun Kalite (Birinci kalite) olarak kategorize edilirken, Giresun'da yetiştirilen diğer çeşitler ve Giresun dışında yetiştirilen tüm fındıklar Levant Kalite (İkinci Kalite) olarak sınıflandırılmaktadır (Alasalvar vd., 2010).

Türkiye'de fındık yetiştiriciliği konvansiyonel ve organik olmak üzere iki farklı metotla gerçekleştirilmektedir. Artan tüketici ilgisine bağlı olarak tüm organik gıdalara olduğu gibi organik fındığa olan talepte artış trendindedir. Bu duruma bağlı olarak organik fındık üretimi son beş yılda yaklaşık 2 kat artışla 27300 tona ulaşmış (TOB, 2022) ve toplam fındık üretiminin yaklaşık %4.11'ini karşılamaktadır. Ancak, sürdürülebilir tarım sistemlerinde, kimyasal girdilerin sınırlandırılması ya da tamamen organik tarıma geçilmesi ile birlikte toprak verimliliği azalmaktadır. Bu nedenle organik tarımda istenilen ivme sağlanamamıştır. Ancak bu noktada öncelik verilmesi gereken husus tarımsal üretim için gerekli kaynakların sınırsız olmadığı, çevreye ve doğaya duyarlı üretim tekniklerinin uzun vadede üretici gelirinde sürekliliği sağlayabileceği olmalıdır.

Gıdaların fiziksel ve renk özellikleri tüketici tercihlerini etkileyen ve ekonomik değerlerini belirleyen en önemli parametreler arasında yer almaktadır. Bu nedenle bazı araştırmacılar organik ve konvansiyonel yöntemlerle yetiştirilen patates (Lombardo vd., 2012), karnabahar, kabak (Maggio vd., 2013), kivi (Nunes-Damaceno vd., 2013), çilek (Crecente-Campo vd., 2012), hünnap (Reche vd., 2019), badem (Murathan vd., 2020) gibi bazı meyve ve sebzelerin fiziksel ve renk özelliklerinin tespiti amacıyla çeşitli çalışmalar yürütmüşlerdir. Diğer taraftan renk özellikleri temel alınarak görüntü işleme teknikleriyle organik ve konvansiyonel kırmızıbiberlerin birbirinden ayırt edilmesi başarıyla gerçekleştirilmiştir (Unluturk vd., 2011; Unluturk vd., 2014). Literatürde Levant kalite fındıkların fiziksel ve renk özellikleri de kapsamlı şekilde mevcut olmasına rağmen (Karaosmanoğlu ve Üstün, 2017; Karaosmanoğlu ve Üstün, 2022) Giresun Kalite fındıklarla ilgili bir çalışmaya rastlanmamıştır. Ayrıca fındıkların ekstenel boyutlarının belirlenmesi ürünlerin işlenmesi ve makine dizaynı açısından faydalı olabilecektir. Bu çalışmada organik ve konvansiyonel Giresun Kalite fındıkların, fiziksel ve renk özelliklerinin karşılaştırmalı olarak belirlenerek literatürdeki eksikliğin giderilmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metod (Material and Method)

2.1. Materyal (Material)

Organik fındık örnekleri Giresun, Keşap Ziraat Odası Başkanlığı tarafından grup sertifikasyonu adı ile yürütölen Organik Tarım Projesi kapsamındaki 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 bahçelerden alınmıştır. Konvansiyonel fındıklar aynı coğrafi bölgede yer alan ve aynı iklim koşullarına sahip 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 bahçelerden toplanmıştır (Giresun, Türkiye). Organik fındıklar, ECAS Sertifikasyon ve Uluslararası Kontrol Limited Şirketi (Antalya, Türkiye) tarafından sertifikalanmış bahçelerden hasat edilmiştir. Araştırmada 2020 sezonu Giresun Kalite (Prime Quality) Tombul fındıklar kullanılmıştır. Fındık bahçelerinden rastgele seçilen fındıklar, ağustos ayının ikinci haftasında zuruflarının yeşilden sarıya dönmesi ve nem oranının %30'a düşmesinden sonra yerden elle toplanmıştır. Hasat edilen fındıklar, zuruflarından patozla ayrılmış ardından beton harmanda, jüt tente (5x5 m) üzerinde güneş altında 3 gün boyunca sabah 09.00 akşam 19.00 saatleri arasında kurumaya bırakılmıştır. Ayrıca kurutma süresi boyunca her gün 5 defa karıştırılmıştır. Akşam 19.00'dan sonra her tente toplanarak üzerleri nem transferinin engellenmesi için naylon örtüyle örtölmüştür. 3. günün sonunda fındıkların nem oranının %6'nın altına inmesiyle kurutma işlemleri sonlandırılmıştır. Nem takibi, harmanın 9 farklı noktasından alınan örneklerin nem tayin cihazıyla (Shimadzu Mod-63U, Japonya) nem oranlarının belirlenmesiyle gerçekleştirilmiştir. Her bahçeden alınan 50 kg örnek (total 300 kg) analiz gününe kadar -18 °C'de bekletilmiştir.

2.2. Metod (Method)

Kabuklu fıındıkların boyutlarını (Şekil 1) belirlemek için rastgele seçilen 30 meyve kullanılmıştır. Seçilen meyvelerin meyve uzunluğu (L), meyve genişliği (W) ve meyve kalınlığı (T) 0.01 mm duyarlılığa sahip dijital kumpas ile ölçölüp aritmetik ortalamaları alınarak tespit edilmiştir. Meyve uzunluğu; meyve tablası ve uç kısım arasındaki mesafenin, meyve genişliği; iki kotiledon birleşme çizgisi arasındaki en geniş mesafenin, meyve kalınlığı; her iki kabuk yanakları arasındaki en geniş mesafenin ölçölmesiyle belirlenmiştir. Kullanılan bu örneklerin daha sonra kabukları kırılarak natürel iç elde edilmiş ve aynı işlemler iç fıındıklar için de tekrarlanmıştır. Meyve ağırlıkları ve aynı meyvelerin iç ağırlıkları 0.01 g'a duyarlı dijital hassas terazi ile tek tek tartılıp aritmetik ortalamasının hesaplanmasıyla belirlenmiştir (Ayfer vd., 1986; Karaosmanoğlu ve Üstün, 2017). Meyve ve içlerinin; şekil indeksi ($\mathcal{S}\mathcal{I}$), büyüklük (Dg), yuvarlaklık (Φ), yüzey alanı (S) (Ercisli vd., 2011), hacimleri (V) ve yüzde hacim değişim (ΔV) (Delprete ve Sesena, 2014) değerleri aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\mathcal{S}\mathcal{I} = \frac{L}{(W+T)/2} \quad (1)$$

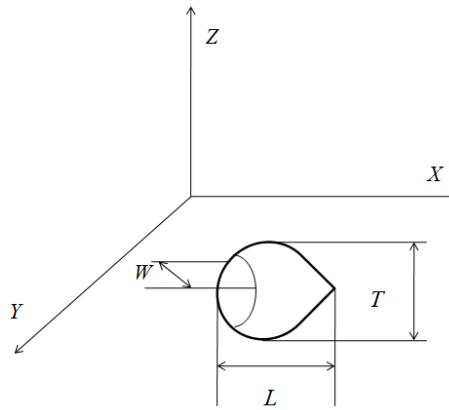
$$Dg = \sqrt[3]{LWT} \quad (2)$$

$$\Phi = \frac{\sqrt[3]{LWT}}{L} \times 100 \quad (3)$$

$$S = \pi Dg^2 \quad (4)$$

$$V = \frac{4}{3}\pi \frac{L}{2} \frac{W}{2} \frac{T}{2} = \frac{4}{3}\pi \frac{LWT}{2} = \frac{2}{9}\pi LWT \quad (5)$$

$$\Delta V = 100 \left(1 - \frac{V_{iç}}{V_{kabuklu}}\right) \quad (6)$$



Şekil 1. Kabuklu Ve Natürel İç Fıındığın Boyutları, L: Uzunluk, T: Kalınlık, W, Genişlik (Dimensions Of Shelled And Natural Hazelnut Kernels, L: Length, T: Thickness, W, Width)

Kabuk kalınlığı; meyve tablasından yukarıya doğru orta bölgenin en kalın yerinin ölçölmesiyle belirlenmiştir. Göbek boşluğu; iç fıındık ortadan kesilerek aradaki boşluğun en geniş yerinden ölçölmesiyle tespit edilmiştir. İç oranı; toplam iç ağırlığının toplam meyve ağırlığına, sağlam iç oranı; kabuğu tamamen doldurmuş kusursuz içlerin toplam meyve sayısına, kusurlu iç oranı; sağlam olmayan ve boş içli meyveler dışındaki meyvelerin içlerinin toplam meyve sayısına oranlanmasıyla belirlenmiştir (Ayfer vd., 1986; Karaosmanoğlu ve Üstün, 2017).

İç fıındıkların L^* (parlaklık), a^* (kırmızılık) ve b^* (sarılık) değerleri HunterLab Color Flex EZ renk ölçüm cihazı ile tespit edilmiştir. Ölçölmeden önce cihaz X:79.05, Y:84.02, Z:89.03 olacak şekilde kalibre edilmiştir. Yirmi fıındık optik silindirin içine konulmuş sonrasında farklı noktalardan ölçöl yapılarak L^* , a^* ve b^* değerleri tespit edilmiştir (Mexis ve Kontominas, 2009). Ayrıca elde edilen renk değerleri Adobe photoshop-CS6 programında Lab renk sistemine girilerek renk skalası oluşturulmuştur. Munsell renk sistemine göre; renk yoğunluğunun veya doğunluğunun bir ölçölüsü olan ve 0 (tamamen doymamış) ile 100 (saf renk) arasında değişen kromatikliği tanımlayan $kroma$ (C) ve rengin tonunu yansıtan ve 360° ölçekte derece olarak ifade edilen hue (h°) değeri (Patras, 2019) ve kahverengileşme indeksi (BI) (Marzocchi vd., 2017) aşağıdaki eşitliklerle hesaplanmıştır. Zar atma oranı; sağlam iç fıındıkların konvansiyonel fırında 175 °C'de 15 dk kavrulup el ile ovularak zarından ayrılması ve beyazlayan fıındıkların toplam fıındık sayısına oranlanması ile belirlenmiştir.

$$C = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (7)$$

$$h^\circ = \arctan(b^*/a^*) \quad (8)$$

$$BI = 100 \times \frac{x-0.31}{0.17}, \quad x = \frac{(a^*+1.75 L^*)}{(5.645L^*+a^*-3.012b^*)} \quad (9)$$

2.3. İstatistik Analizler (Statistical Analysis)

Çalışma tesadüf parselleri deneme desenine göre 3 tekerrürlü yürütülmüştür. Deneysel veriler ortalama \pm standart sapma olarak ifade edilmiştir. Yetiştirme sistemleri arasındaki farkın önemi, tek yönlü ANOVA ve Levene Varyansların Eşitliği Testi ($P<0.05$), SPSS (IBM Inc. Armonk, NY, USA) Sürüm 17.0 kullanılarak analiz edilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma (Results And Discussion)

3.1. Geometrik Özellikler (Geometric Properties)

Organik ve konvansiyonel koşullarda yetiştirilen Giresun Kalite fındıkların meyve uzunluğu (MU), meyve genişliği (MG) ve meyve kalınlığı (MK) değerleri Tablo 1 'de sunulmuştur. Çalışma sonuçlarına göre üretim yönteminin meyve boyutları üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemsiz olduğu tespit edilmiştir ($P>0.05$). Her iki yöntemle yetiştirilen fındıkların birbirlerine oldukça yakın değerler aldığı görülmüştür (MU 17.62-17.99 mm, MG 14.73-14.75 mm, MK, 16.22-16.23 mm, organik ve konvansiyonel sırasıyla). Levant kalite Çakıldak, Tombul, Mincane, Sivri, Foşa ve Palaz çeşitlerinde yürütülen bir çalışmada benzer şekilde MU ve MK'nın organik-konvansiyonel tarım uygulamalarından etkilenmediği ancak çalışmamızdan farklı olarak konvansiyonel fındıkların daha kalın olduğu rapor edilmiştir (Karaosmanoğlu ve Üstün, 2017). Konvansiyonel Tombul fındıkların meyve boyutlarının incelendiği bir başka çalışmada sonuçlarımızla uyumlu şekilde MU, MG, MK değerleri 17.73, 16.50, 15.72 mm olarak tespit edilmiştir (Bostan ve Koç Güler, 2016).

Meyve boyutlarına paralel olarak iç uzunluğu (İU), iç genişliği (İG), iç kalınlığı (İK) üzerinde yetiştirme yönteminin etkisi istatistiksel olarak önemsiz bulunmuş ($P>0.05$) ve uygulamalar arasında yakın değerler belirlenmiştir (İU 13.65-13.85 mm, İG 11.73-11.47 mm, İK 12.72-12.65 mm, organik ve konvansiyonel sırasıyla). Konvansiyonel Levant Tombul fındıklarda yürütülen bir çalışmada İU, İG, İK değerleri 13.13-13.99 mm, 12.64-13.69 mm, 12.35-13.45 mm aralığında verilerimizle uyumlu şekilde rapor edilmiştir (Turan, 2019). Ercişli vd. (2011) ise iç boyutlarını bizim değerlerimizden daha yüksek bulmuştur (İU 14.79-21.08 mm, İG 11.27-16.33 mm, İK 8.91-16.06 mm). Karaosmanoğlu ve Üstün (2017) organik ve konvansiyonel yöntemlerle yetiştirilen Levant kalite Çakıldak, Tombul, Mincane, Sivri, Foşa ve Palaz çeşitlerinde çalışma sonuçlarımızdan farklı olarak konvansiyonel fındıkların İU, İG, İK ölçülerinin organik olanlardan anlamlı şekilde daha yüksek olduğunu bildirmiştir (İU 13.95-14.16 mm, İG 12.75-13.29 mm, İK 11.96-12.18 mm, organik ve konvansiyonel sırasıyla). Meyve ve iç boyutlarına; klonal farklılıklar, çeşit (Ozdemir ve Akinci, 2004; Ercişli vd., 2011), ekolojik koşullar, lokasyon, teknik ve kültürel uygulamalar (Balta vd., 2006) gibi parametreler etki edebilmektedir. Farklılıkların bu nedenlerden kaynaklanıyor olabileceği değerlendirilmektedir.

Meyve ve içlerinin şekil indeksi ($S\hat{I}$), geometrik ortalama çap (Dg), yuvarlaklık (Φ), yüzey alanı (S), meyve ve iç hacimleri (V) ve kabuğun yüzde hacim değişim (ΔV) değerleri Tablo 1'de özetlenmiştir. Yetiştirme yöntemlerinin sıralanan parametrelere istatistiksel olarak önemli düzeyde etkisi olmamıştır ($P>0.05$). Çalışma sonuçlarımız literatürle oldukça benzerlik göstermektedir. Örneğin Turan (2019) sonuçlarımıza benzer şekilde kabuklu Tombul fındıkların $S\hat{I}$ 'sini 1.01-1.07 mm ve Dg 'sini 17.17-17.33 mm arasında bildirmiştir. Balta vd. (2006) Bitlis fındıklarının, meyve ve içlerinin $S\hat{I}$ 'lerini 0.99-1.50 ve 0.96-1.73 mm arasında rapor etmişlerdir. Diğer taraftan Aydın (2002) meyve ve içlerinin Dg ve Φ değerlerini 17.83, 13.38 mm ve %97.58, %93.57 olarak tespit etmişlerdir. Ercişli vd. (2011) 12 farklı fındık genotipinde S değerlerinin meyvede 8.21-13.64 cm², iç fındıkta 5.43-8.48 cm² arasında değiştiğini belirlemişlerdir. Delprete ve Sesana (2014)'nın İtalyan fındıklarında yürüttüğü bir çalışmada meyve ve iç hacimlerini sırasıyla (V) 2906.25 mm³ ve 1220.59 mm³, ΔV değerini 57.95 olarak rapor etmişlerdir.

İç oranı (randıman) ve beyazlama oranı yetiştirme yönteminden istatistiksel olarak önemli derecede etkilenirken ($P<0.05$) diğer iç özellikleri (iç ağırlığı, kabuk kalınlığı, göbek boşluğu, sağlam iç oranı, kusurlu iç oranı, buruşuk iç oranı) etkilenmemiştir. İç oranının organik üretimde %55.68, konvansiyonelde %54.26 olduğu ve organik fındıkların istatistiksel olarak önemli düzeyde daha yüksek randımana sahip olduğu görülmüştür. Fındığın pazar fiyatının randıman üzerinden (%50 randıman) belirlendiği düşünüldüğünde organik fındıkların daha yüksek randımana sahip olması ekonomik değeri artırılmaktadır. Karaosmanoğlu ve Üstün (2017) çalışmamızdan farklı olarak Levant kalite organik ve konvansiyonel fındıkların randımanları arasında fark olmadığını bildirmişlerdir. Randıman çeşitlere göre değişmekle birlikte kalıtım derecesinin yüksek ($h^2=0.87$) (Yao ve Mehlenbacher, 2000) olmasından kaynaklı olarak verim, ekoloji ve kültürel uygulamalardan da etkilenmektedir (Turan, 2019). Ferrao vd. (2021) konvansiyonel Portekiz fındıklarında randımanı sonuçlarımıza yakın şekilde 44.14-63.91 aralığında, Milosevic ve Milosevic (2017) Sırbistan'da konvansiyonel koşullarda yetiştirilen fındıklarda bulgularımızdan daha düşük olarak 36.47-47.09 aralığında rapor etmişlerdir.

Tablo 1. Organik Ve Konvansiyonel Fındıkların Bazı Fiziksel Karakteristikleri (Some Physical Characteristics Of Organic And Conventional Hazelnuts)

	Organik	Konvansiyonel
kabuklu fındık		
meyve uzunluğu (mm)	17.62±0.16 ^a	17.99±0.21 ^a
meyve genişliği (mm)	14.73±0.03 ^a	14.75±0.12 ^a
meyve kalınlığı (mm)	16.22±0.15 ^a	16.23±0.15 ^a
meyve şekil indeksi- Şİ	1.14±0.01 ^b	1.16±0.01 ^a
meyve büyüklüğü- Dg (mm)	16.15±0.10 ^a	16.27±0.14 ^a
meyve yuvarlaklığı- Φ (%)	91.62±3.98 ^a	90.44±4.10 ^a
yüzey alanı- S (cm ²)	8.19±0.97 ^a	8.31±1.40 ^a
meyve hacmi- V (mm ³)	2937.50±108.22 ^a	3005.00±99.23 ^a
yüzde hacim ΔV (%)	51.65±3.21 ^a	53.66±3.22 ^a
meyve ağırlığı (g)	1.71±0.04 ^a	1.73±0.07 ^a
kabuk kalınlığı (mm)	0.98±0.09 ^a	0.99±0.02 ^a
İç fındık		
iç uzunluğu (mm)	13.65±0.31 ^a	13.85±0.33 ^a
iç genişliği (mm)	11.73±0.04 ^a	11.47±0.24 ^a
iç kalınlığı (mm)	12.72±0.35 ^a	12.56±0.14 ^a
iç şekil indeksi- Şİ	1.08±0.01 ^a	1.09±0.0 ^a
iç büyüklüğü- Dg (mm)	12.67±0.02 ^a	12.59±0.23 ^a
iç yuvarlaklığı- Φ (%)	92.86±3.82 ^a	90.91±4.01 ^a
iç yüzey alanı- S (cm ²)	5.43±1.22 ^a	4.98±1.82 ^a
iç hacmi- V (mm ³)	1420.11±47.34 ^a	1393.15±53.65 ^a
iç özellikleri		
iç ağırlığı (g)	0.95±0.02 ^a	0.94±0.03 ^a
göbek boşluğu (mm)	1.36±0.26 ^a	1.24±0.06 ^a
iç oranı (%)	55.68±0.99 ^a	54.26±0.32 ^b
sağlam iç oranı (%)	88.89±13.47 ^a	92.23±1.92 ^a
kusurlu iç oranı (%)	7.77±7.70 ^a	3.33±0.0 ^a
buruşuk iç oranı (%)	3.33±5.77 ^a	4.44±1.92 ^a
beyazlama oranı (%)	96.00±0.84 ^a	90.00±0.52 ^b

Tüm değerler ortalama ± SD (n= 3) olarak sunulmuştur. Satırlar içindeki farklı harfler istatistiksel olarak anlamlı farklılıkları gösterir (p< 0.05, Levene'nin Varyansların Eşitliği Testi).

Fındıkta beyazlama oranı (zar atma) en önemli teknolojik özelliklerden birisidir ve fındığın zararını tam ve yüksek oranda atması ticari değerini yükseltmektedir. Fındığın kavrulması ile zar ayrılır, mikroorganizmalar ve enzimler inaktive olur, toksin ve allerjen bileşikler yıkıma uğrarlar. İlaveten aroma ve flavour gelişir, tekstür değişir, parlaklık ve gevreklik artar (Şimşek, 2007). Organik fındıkların beyazlama oranının (%96.84) konvansiyonel fındıklardan (%90.25) daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Yapılan bir çalışmada konvansiyonel Tombul fındığın beyazlama oranı sonuçlarımızdan bir miktar yüksek olarak %97.02 olarak bildirilmiştir (Turan, 2019). Çeşit, kültürel uygulamalar, iklim, hasat sezonu gibi bazı faktörler beyazlama oranını etkilemektedir (Turan, 2019) ve farklılıkların bu faktörlerden kaynaklanabileceği değerlendirilmektedir.

3.2. Renk özellikleri (Color Properties)

Tüketiciler için kurutulmuş gıdalarda renk en önemli kalite parametrelerinden birisidir (Özdemir ve Devres, 2000; Özdemir vd., 2001). Bu nedenle gıdaların renk değerlerinin bilinmesi tüketici tercihlerini etkilemesi yönünden önemlidir. Organik ve konvansiyonel kabuklu fındıkların, içlerinin ve unlarının renk değerleri ölçülmüş ve Tablo 2'de sunulmuştur. Çalışmamızda üretim yönteminin kabuklu fındıkların L^* , a^* , b^* ve $kroma$ değerleri üzerine etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (P<0.05). Organik örneklerin kabuklarının L^* değerleri daha yüksek çıkmış dolayısıyla istatistiksel olarak önemli düzeyde daha parlak bulunmuştur (organik 47.81, konvansiyonel 45.64). Oluşturulan renk skalasında görsel olarak bu farklılık çok net olmamakla birlikte görülebilmektedir (Şekil 2). L^* değerinin aksine a^* , b^* ve $kroma$ değerlerinde konvansiyonel örneklerin daha yüksek değerler aldığı görülmüştür (a^* 11.23-12.74, b^* 18.32-19.51, $kroma$ 21.50-23.31, organik konvansiyonel sırasıyla). Hue değerleri üzerine ise yetiştirme yönteminin etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır (P>0.05). Ercişli vd. (2011)







kabuklu fındıklarda L^* değerlerini sonuçlarımızdan daha düşük olarak 17.33-34.95 aralığında rapor etmiştir. Ercişli vd. (2011) aynı çalışmalarında a^* (8.67-13.65), b^* (13.81-23.82), hue (55.71-60.47), $kroma$ (16.80-27.84) değerlerini ise sonuçlarımızla kıyaslanabilir düzeyde rapor etmişlerdir.

Tablo 2. Organik Ve Konvansiyonel Kabuklu Fındık, İç Fındık Ve Fındık Unlarının Renk Karakteristikleri (Color Characteristics Of Organic And Conventional Hazelnuts, Hazelnut Kernels And Hazelnut Flours)

	Organik	Konvansiyonel
kabuklu fındık		
L^*	47.48±1.22 ^a	45.64±1.12 ^b
a^*	11.23±0.66 ^b	12.74±0.64 ^a
b^*	18.32±0.68 ^b	19.51±0.2 ^a
hue	58.49±2.02 ^a	56.86±1.39 ^a
$kroma$	21.50±0.56 ^b	23.31±0.37 ^a
iç fındık		
L^*	48.97±0.50 ^a	50.14±1.23 ^a
a^*	16.81±0.51 ^a	16.24±0.53 ^a
b^*	22.47±0.76 ^a	23.49±1.12 ^a
hue	53.18±1.13 ^a	55.32±1.68 ^a
$kroma$	28.06±0.73 ^a	28.56±0.92 ^a
kahverengileşme indeksi	66.44±1.25 ^b	78.96±1.22 ^a
un		
L^*	67.77±1.69 ^a	68.42±3.30 ^a
a^*	4.13±0.51 ^a	4.17±1.09 ^a
b^*	16.89±0.74 ^a	17.46±2.36 ^a
hue	76.27±1.26 ^a	76.62±3.05 ^a
$kroma$	17.39±0.81 ^a	17.97±2.43 ^a
kahverengileşme indeksi	58.07±0.88 ^a	57.03±0.75 ^a

Tüm değerler ortalama ± SD (n= 3) olarak sunulmuştur. Satırlar içindeki farklı harfler istatistiksel olarak anlamlı farklılıkları gösterir (p<0.05, Levene'nin Varyansların Eşitliği Testi).

Konvansiyonel fındıkların L^* değeri (50.14) organiklerden (48.97) bir miktar yüksek bulunsa da aradaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. L^* haricindeki diğer değerlerde de üretim sisteminin bir etkisi tespit edilememiştir (P>0.05). Organik ve Konvansiyonel Levant kalite Tombul, Çakıldak, Mincane, Palaz, Sivri çeşitler üzerinde yürütülen bir çalışmada üretim yönteminin rengi etkilemediği ancak çeşit faktörünün etkili olduğu rapor edilmiştir (Karaosmanoğlu ve Üstün, 2022). Koç Güler vd. (2017) ise L^* , a^* , b^* değerlerini sırasıyla 66.27, 2.80, 16.04 olarak rapor etmiştir. Reche vd. (2019) hünnap meyvesinde, Nunes-Damaceno vd., 2013 kivi meyvesinde sonuçlarımıza benzer şekilde organik ve konvansiyonel meyvelerinin renk değerlerindeki farklılıkların genellikle istatistiksel olarak anlamlı olmadığını bildirmişlerdir. İç fındıkta olduğu gibi fındık ununda da renk değerleri üzerine üretim sisteminin istatistiksel olarak etkisinin olmadığı tespit edilmiştir (P>0.05). Levant Kalite, farklı fındık çeşitlerinin unlarının a^* , b^* , $kroma$, hue değerleri arasında farklılık tespit edilemezken çalışmamızdan farklı olarak organik unların daha parlak olduğu bildirilmiştir (Karaosmanoğlu ve Üstün, 2021). Konvansiyonel fındık unlarının L^* , a^* , b^* değerlerini Evren (2011) 50.56, 4.63 ve 11.39, Ercoşkun (2009) 60.93, 2.24, 25.86 olarak bildirmiştir. Hasat zamanı, genotip, çeşit, toprak yapısı, ekoloji ve ölçüm yöntemi gibi faktörler meyve rengini etkileyebilmektedir (Şimşek, 2007; Crecente-Campo vd., 2012). Literatürün kendi arasında ve çalışmamızla olan farklılığının nedeni sıralanan faktörler olabilir.

	Konvansiyonel	Organik
Kabuklu		
İç		
Un		

Şekil 2. Organik Ve Konvansiyonel Fındıkların Kabuk, İç Ve Unlarına Ait Renk Skalası (Color Scale Of Shell, Kernel And Flour Of Organic And Conventional Hazelnuts)

4. Sonuç (Results)

Çalışma sonuçlarına göre organik ve konvansiyonel olarak yetiştirilen fındıkların iç oranı ve beyazlama oranı arasındaki farklılıklar istatistik olarak önemli bulunmuştur. Diğer meyve ve iç özellikleri arasında rakamsal farklılıklar olmasına rağmen istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Organik fındıkların iç oranı ve beyazlama oranlarının konvansiyonel fındıklara kıyasla daha yüksek olduğu görülmüştür. Kabuklu organik fındıkların daha yüksek L^* değerine karşılık daha düşük a^* , b^* ve $kroma$ değerine sahip olduğu belirlenmiş ancak natürel iç ve onların renk özellikleri arasında farklılık görülmemiştir. Sonuç olarak fındıkların market değerini önemli ölçüde belirleyen meyve boyutları ve renk değerleri açısından organik ve konvansiyonel örnekler arasında kayda değer bir fark görülmemiştir. Renk özellikleri açısından benzerlik oluşturulan renk skalasında görselleştirilmiştir. Üretici ve tüketici sağlığı açısından zararlı olabilen kimyasal girdilerin kullanılmadığı organik tarımın, toprak ve ekosistemi koruyarak sürdürülebilir fındık üretiminin sağlanabilmesi için teşvik edilmesi 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)

- Alasalvar, C., Shahidi, F., Liyanapathirana, C., M. ve Ohshima, T., 2003. Turkish Tombul hazelnut (*Corylus avellane* L.): 1. compositional characteristics. Journal of Agricultural and Food Chemistry 51: 3790-3796. <https://doi.org/10.1021/jf0212385>
- Alasalvar, C., Pelvan, E. ve Topal, B., 2010. Effects of roasting on oil and fatty acid composition of Turkish hazelnut varieties (*Corylus avellana* L.). International Journal of Food Sciences and Nutrition 61(6): 630-642. <http://dx.doi.org/10.3109/09637481003691820>
- Aydin, C., 2002. Physical properties of hazel nuts. Biosystems Engineering 82 (3): 297-303 doi:10.1006/bioe.2002.0065
- Ayfer, M., Uzun, A. ve Baş, F., 1986. Türk fındık çeşitleri, Karadeniz Bölgesi Fındık İhracatçıları Birliği Yayınları. 95s. Ankara.
- Balta, M. F., Yarılgaç, T., Aşkın, M. A., Kuçuk, M., Balta, F. ve Özrenk, K. 2006. Determination of fatty acid compositions, oil contents and some quality traits of hazelnut genetic resources grown in eastern Anatolia of Turkey. Journal of Food Composition and Analysis 19: 681-686. doi:10.1016/j.jfca.2005.10.007
- Balık, H., Kayalak Balık, S. ve Okay, A. 2015. Yeni Fındık Çeşitleri (Okay 28 ve Giresun Melezi). Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi, 19 (2): 104-109.
- Bostan, S. Z. ve Koç Güler, S., 2016. Kabuklu olarak depo edilen bazı fındık çeşitlerinde kalite değişimleri. Bahçe 45: 41-53.
- Crecente-Campo, J., Nunes-Damaceno, M., Romero-Rodriguez, M. A. ve Vazquez-Oderiz, M. L., 2012. Color, anthocyanin pigment, ascorbic acid and total phenolic compound determination in organic versus conventional strawberries (*Fragaria x ananassa* Duch, cv Selva). Journal of Food Composition and Analysis 28: 23-30 <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfca.2012.07.004>
- Delprete, C. ve Sesana, R., 2014. Mechanical characterization of kernel and shell of hazelnuts: proposal of an experimental procedure. Journal of Food Engineering 124: 28-34. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.09.027>
- Ercisli, S., Ozturk, I., Kara, M., Kalkan, F., Seker, H., Duyar, O. ve Erturk, Y., 2011. Physical properties of hazelnuts. International Agropysics 25: 115-121.
- Ercişkun, D. T., 2009. Bazı işlenmiş fındık ürünlerinin raf ömrü üzerine Araştırmalar. Doktora tezi. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara, 205s.
- European Food Safety Authority, 2011. Scientific Opinion on the substantiation of health claims related to nuts and essential fatty acids (omega-3/omega-6) in nut oil (ID 741, 1129, 1130, 1305, 1407) pursuant to Article 13(1) of Regulation (EC) No 1924/2006. EFSA Journal, 9(4), Article 2032. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2011.2032>
- Evren, S., 2011. Natürel fındık ununun depolama stabilitesi, Doktora tezi. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Samsun, 136 s.
- FAO, 2022. Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO Statistics Division. Erişim tarihi 24 Mart 2023. www.faostat.fao.org
- Ferrão, A. C., Guiné, R. P. F., Ramalhosa, E., Lopes, A., Rodrigues, C., Martins, H., Gonçalves, R. ve Correia, P. M. R., 2021. Chemical and physical Properties of some hazelnut varieties grown in Portugal. Agronomy, 11: 1476. <https://doi.org/10.3390/agronomy11081476>
- FIBL ve IFOAM, The World of Organic Agriculture Statistics and Emerging Trend, 2023. Erişim tarihi 24 Nisan 2023, from <chrome-extension://efaidnbnmnibpcjpcglclefindmkaj/https://www.fibl.org/fileadmin/documents/shop/1254-organic-world-2023.pdf>
- Patras, A., 2019. Stability and colour evaluation of red cabbage waste hydroethanolic extract in presence of different food additives or ingredients. Food Chemistry 275: 539-548. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.09.100>
- Karaosmanoğlu, H. ve Üstün, N. Ş., 2017. Organik ve konvansiyonel fındıkların (*Corylus avellana* L.) bazı fiziksel özellikleri. Akademik Gıda 15: 377-385. <https://doi.org/10.24323/akademik-gida.370107>

- Karaoşmanoğlu, H. ve Üstün, N.Ş., 2019. Variations in fatty acid composition and oxidative stability of hazelnut (*Corylus avellana* L.) varieties stored by traditional method. *Grasas Aceites*. 70(1): e288 <https://doi.org/10.3989/gya.0463181>
- Karaoşmanoğlu, H. ve Üstün, N. Ş., 2021. Determination of color properties of organic and conventional hazelnut flour. *Akademik Ziraat Dergisi* 10(1): 11-18 DOI: <http://dx.doi.org/10.29278/azd.749983>
- Karaoşmanoğlu, H. ve Üstün, N. Ş., 2022. Proximate, mineral composition, color properties of organic and conventional grown hazelnuts (*Corylus avellana* L.). *Erwerbs-Obstbau* (in press). <https://doi.org/10.1007/s10341-021-00634-x>
- Koç Güler, S., Bostan, S. Z. ve Çon, A. H., 2017. Effects of gamma irradiation on chemical and sensory characteristics of natural hazelnut kernels. *Postharvest Biology and Technology* 123: 12-21. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.08.007>
- Lombardo, S., Pandino, G. ve Mauromicale, G., 2012. Nutritional and sensory characteristics of early potato cultivars under organic and conventional cultivation systems. *Food Chemistry* 133: 1249-1254. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.10.005>
- Maggio, A., Pascale, S. D., Paradiso, R. ve Barbieri, G., 2013. Quality and nutritional value of vegetables from organic and conventional farming. *Scientia Horticulturae* 164: 532-539. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2013.10.005>
- Marzocchi, S., Pasini, F., Verardo, V., Ciemniowska-Zytkiewicz, H., Caboni, M.F. ve Romani, S., 2017. Effects of different roasting conditions on physical-chemical properties of Polish hazelnuts (*Corylus avellana* L. var. Katalonski). *LWT - Food Science and Technology* 77: 440-448 <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2016.11.068>
- Mexis, S. F. ve Kontominas M. G., 2009. Effect of γ -irradiation on the physicochemical and sensory properties of hazelnuts (*Corylus avellana* L.). *Radiation Physics and Chemistry* 78: 407-413. doi:10.1016/j.radphyschem.2009.03.008
- Milošević, T. ve Milošević, N., 2017. Determination of size and shape features of hazelnuts using multivariate analysis. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus* 16(5): 49-61. DOI: 10.24326/asphc.2017.5.6
- Murathan, Z. T., Kaya, A., Erbil, N., Arslan, M., Diraz, E. ve Karaman Ş., 2020. Comparison of bioactive components, antimicrobial and antimutagenic features of organically and conventionally grown almond hulls. *Erwerbs-Obstbau* 62: 463-472 <https://doi.org/10.1007/s10341-020-00525-7>
- Nunes-Damaceno, M., Muñoz-Ferreiro, N., Romero-Rodríguez, M. A. ve Vázquez-Odériz M. L., 2013. A comparison of kiwi fruit from conventional, integrated and organic production systems. *LWT- Food Science and Technology* 54: 291-297. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2013.05.002>
- Oliveira, I., Sousa, A., Morais, J. S., Ferreira, I. C. F. R., Bento, A., Estevinho, L. ve Pereira, J. A., 2008. Chemical composition, and antioxidant and antimicrobial activities of three hazelnut (*Corylus avellana* L.) cultivars. *Food and Chemical Toxicology* 46: 1801-1807. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2008.01.026>
- Ozdemir, F. ve Akinci, I., 2004. Physical and nutritional properties of four major commercial Turkish hazelnut varieties. *Journal of Food Engineering* 63: 341-347. doi:10.1016/j.jfoodeng.2003.08.006
- 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., Seyhan, F. G., Bakan, A. K., İlter, S., Özay, G. ve Devres, O., 2001. Analysis of internal browning of roasted hazelnuts. *Food Chemistry* 73: 191-196. PII:S0308-8146(00)00273-9
- Özdemir, M., ve Devres, O., 2000. Kinetics of color changes of hazelnuts during roasting. *Journal of Food Engineering* 44: 31-38. PII:S0260-8774(99)00162-4
- Reche, J., Hernandez, F., Almansa, M. S., Carbonell-Barrachina, A. A., Legua, P. ve 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>
- Samman, S., Chow, J. W. Y., Foster, M. J., Ahmad, Z. I., Phuyal, J. L. ve Petocz, P., 2008. Fatty acid composition of edible oils derived from certified organic and conventional agricultural methods. *Food Chemistry* 109: 670-674. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.12.067>
- Soares, D. J., Vasconcelos, P. H. M., Camelo, A. L. M., Longhinotti, E., Sousa, P. H. M. ve Figueiredo, R. W., 2013. Prevalent fatty acids in cashew nuts obtained from conventional and organic cultivation in different stages of processing. *Food Science and Technology* 33(2): 265-270. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612013005000050>
- 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. doi:10.1016/j.jfoodeng.2006.01.008
- TOB, 2022. Türkiye Cumhuriyeti Tarım ve Orman Bakanlığı, <https://www.tarimorman.gov.tr/Konular/Bitkisel-Uretim/Organik-Tarim/Istatistikler>. (Erişim tarihi: 24.04.2023)
- TTSM, 2023. Türkiye Tohumluk Tescil ve Sertifikasyon Merkezi Müdürlüğü, Milli Çeşit Listesi (Erişim tarihi: 24.04.2023). <https://www.tarimorman.gov.tr/BUGEM/TTSM/Sayfalar/Detay.aspx?SayfaId=85>
- 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
- Turan, A., 2019. Kurutma yöntemlerinin fındığın fiziksel özellikleri üzerine etkisi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 34(3): 296-303. doi: 10.7161/omanajas.536346
- Unluturk, S., Unluturk, M. S., Pazir, F., Kuscu, A., 2011. Process neural network method: case study I: discrimination of sweet red peppers prepared by different methods. *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing* 2011:1-8. doi:10.1155/2011/290950
- Unluturk, S., Unluturk, M. S., Pazir, F., Kuscu, A. 2014. Discrimination of bio-crystallogram images using neural networks. *Neural Computing and Applications*, 24:1221-1228. DOI: 10.1007/s00521-013-1346-6
- Yao, Q. ve Mehlenbacher, S. A., 2000. Heritability, variance components and correlation of morphological and phenological traits in hazelnut. *Plant Breeding* 119: 369-381. doi:10.1046/j.1439-0523.2000.00524.x



ÇAY HASADI ÇİZELGELEME İÇİN MATEMATİKSEL MODEL ÖNERİSİ

Bedirhan SARIMEHMET¹, Hacı Mehmet ALAKAŞ¹, Mehmet PINARBAŞI¹, Tamer EREN*¹

¹Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kırıkkale, Türkiye

Anahtar Kelimeler

*Hasat Optimizasyonu,
Çay Hasadı Çizelgeleme,
Matematiksel Modelleme,
Hedef Programlama.*

Öz

Uluslar sürdürülebilir tarım faaliyetleri gerçekleştirmek için toplumsal olarak karar mekanizması geliştirmeye ve optimizasyona ihtiyaç duymaktadır. Hasat çizelgeleme de bu karar verme ve optimizasyon problemlerinden biridir. Bu çalışmada, yılda ortalama üç kez hasat edilen çay bitkisi için bir hasat optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Çiftçilikle mevsimlik olarak ilgilenen insanların genellikle birincil meslekleri farklıdır. Hasat günlerinde çiftçiler bu birincil mesleklerini yerine getirememektedir. Bu nedenle, hasat çizelgesinin oluşturulması için çiftçilerin uygun gün tercihlerinin de dikkate alınması sürdürülebilir tarım adına önem taşımaktadır. Bu çalışmada fabrika ve alım yeri kapasitelerinin yanı sıra çiftçilerin uygun/uygun olmayan gün tercihlerini optimize etmek için hedef programlama modelleri geliştirilmiştir. Gerçekleştirilen vaka çalışması sahası şu özelliklere sahiptir: 12 alım yeri, 988 çiftçi ve 3392 dekar çay tarlası. Önerilen modelin performansının test edilmesi için çiftçi uygun/uygun olmayan günlerinin rassal olarak belirlendiği veri setleri üretilmiştir. Bu şekilde birbirinden farklı üretilen bin ayrı veri seti ile duyarlılık analizi yapılmıştır. Yapılan analizler önerilen modeller ile oluşturulan çizelgelerin çay hasat sürecindeki sürdürülebilirliği ve verimliliği artırdığını göstermiştir.

MATHEMATICAL MODEL SUGGESTION FOR TEA HARVEST SCHEDULING

Keywords

*Harvest Optimization,
Tea Harvest Schedules,
Mathematical Modeling,
Goal Programming.*

Abstract

Nations need social decision-making mechanism and optimization to realize sustainable agricultural activities. Harvest scheduling is one of these decision-making and optimization problems. In this study, a harvest optimization is performed for tea plant which is harvested three times a year on average. People who are seasonally interested in farming are often different from their primary professions. On harvest days, farmers are unable to fulfill these primary professions. For this reason, it is important for sustainable agriculture to consider the available day preferences of the farmers for the creation of the harvest schedule. In this study, goal programming models are developed to optimize the deviations from the available/unavailable days preference of the farmers, as well as the capacities of the factory and the storage location. The case study area has the following characteristics: 12 storage locations, 988 farmers and 3392 decares of tea fields. To test the proposed model performance, data set were generated in which farmer suitable/unsuitable days are determined randomly. In this way, sensitivity analysis are performed with a thousand data set generated differently from each other. The analyzes have shown that the schedules created with the proposed models increase the sustainability and efficiency in the tea harvesting process.

Alıntı / Cite

Sarimehmet, B., Alakaş, H.M., Pınarbaşı, M., Eren, T., (2023). Çay Hasadı Çizelgeleme İçin Matematiksel Model Önerisi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(3), 925-938.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

B. Sarimehmet, 0000-0002-6112-9460
H.M. Alakaş, 0000-0002-9874-7588
M. Pınarbaşı, 0000-0003-3424-2967
T. Eren*, 0000-0001-5282-3138

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	30.01.2023
Revizyon Tarihi / Revision Date	05.08.2023
Kabul Tarihi / Accepted Date	15.08.2023
Yayın Tarihi / Published Date	28.09.2023

* İlgili yazar / Corresponding author: tamereren@gmail.com, 0318-357-42-42

MATHEMATICAL MODEL SUGGESTION FOR TEA HARVEST SCHEDULING

Bedirhan SARIMEHMET¹, Hacı Mehmet ALAKAŞ¹, Mehmet PINARBAŞI¹, Tamer EREN^{1†}

¹Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kırıkkale, Türkiye

Highlights

- Harvest optimization was performed.
- Tea harvesting problem is discussed.
- Mathematical models are recommended by goal programming method.
- Numerous preference matrix was produced and sensitivity analysis was performed with Python.

Graphical Abstract

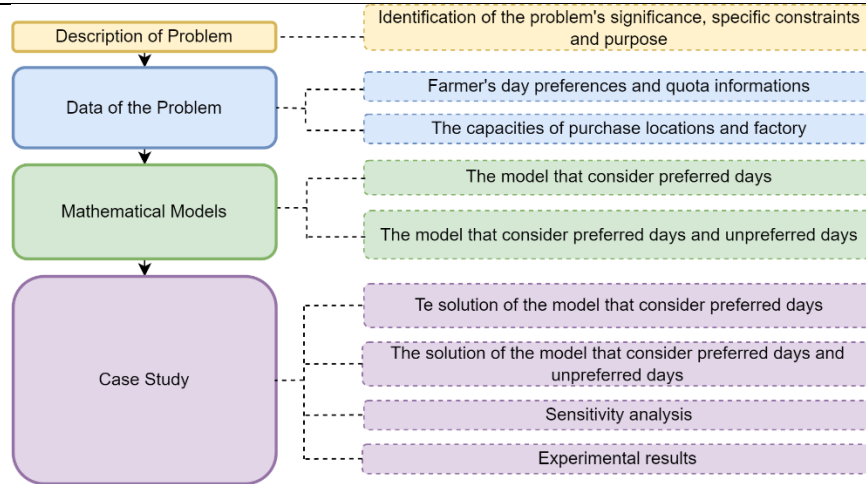


Figure. Uygulamanın Akış Şeması (Flow Chart of the Application)

Purpose and Scope

It is aimed to increase sustainability in agriculture by complying with the preferences of the farmers during the harvesting process.

Design/methodology/approach

Goal programming models have been developed. Sensitivity analysis was performed with 1000 preference matrix.

Findings

Tea harvest schedule can be formed by farmer-factory cooperation. Farmer preferences can be adhered to as much as possible.

Research limitations/implications (if applicable)

In the future studies, tea harvest scheduling problems can also be included in vehicle route and personnel scheduling problems. In addition to which days of farmers will harvest, the decision of the factory vehicles to follow the route can be made.

Practical implications (if applicable)

Taking into account the farmer preferences while creating tea harvest schedule increases sustainability in agriculture.

Social Implications (if applicable)

This study is important in terms of better planning the time of people who make farming as a secondary profession. The models recommended in the study are important to encourage society to agriculture.

Originality

This study is the first work to perform tea harvesting by taking into account the preferences of the farmers.

[†] Corresponding author: tamereren@gmail.com, 0318-357-42-42

1. Giriş (Introduction)

Tarım sektöründe örgütlenme faaliyeti, aynı amaca yönelmiş üreticilerin bir araya gelerek karar alma mekanizmasını geliştirmek amacıyla yapılan faaliyetlerdir. Bu faaliyetlerin gerçekleştirilmesi verimliliği artırmakta, sosyal ve ekonomik kazanımları iyileştirmektedir (Karlı vd., 2018). Andrei vd. (2020) tarımda ihracat rekabetçiliğinin ancak artan verimlilik ile sağlanabileceğini öne sürmüştür. Bu verimliliği artıran unsurlardan birinin tarım sektöründe ilişkilerin genişletilmesini amaçlayan politikalar olduğundan bahsetmiştir. Bu sebeplerden ötürü tarımda uygulanacak toplumsal optimizasyon çalışmaları oldukça değerlidir.

Tarım sektöründe uygulanacak toplumsal optimizasyon çalışmalarında birçok bitki türü ele alınabilir. Bu bitki türleri bölgelere göre değişkenlik gösterir. Türkiye’de Karadeniz bölgesi düşünüldüğünde; çay, fındık, mısır, kivi gibi tarım ürünleri için toplumsal optimizasyon çalışmalarının gerçekleştirilebileceği görülür. Çay bitkisi ele alındığında Türkiye’nin çay tarım alanlarının genişliği bakımından dünyada yedinci sırada yer aldığı, kuru çay üretimi bakımından beşinci sırada yer aldığı dikkat çeker. Dünyada kişi başına çay tüketimi istatistiklerine göre ise Türkiye birinci sırada konumlandırılır (Çaykur, 2019). Bu sebeplerden ötürü çay bitkisinin Türkiye tarım sektöründeki önemi oldukça büyüktür. Çay tarımında hasat çizelgeleme, araç rotalama ve personel çizelgeleme problemleri ele alınabilir. Çiftçilerin hasat günü tercihlerine uymak, fabrikanın alım yerlerine yaptığı sefer sayısını minimize etmek, araçların en kısa rota ile hasat edilen çayları toplamasını sağlamak, şoförleri ve/veya hasadı satın almakla görevli personelleri çizelgelemek gibi birçok amaç için optimizasyon çalışması gerçekleştirilebilir.

Çay, yılda üç kez hasat edilen bir bitkidir. Hasat işlemi çay toplama ile başlar. Çiftçiler genellikle güneşin doğuşuyla çaylığa girer ve öğleden sonraya kadar hasat işlemini gerçekleştirir. Hasat edilen çaylar satış işlemi için çiftçi-fabrika bağlantısını sağlayan alım yeri adı verilen yapılara götürülür. Alım yerlerinde çaylar tartılır ve satış işlemi gerçekleşir. Çiftçilerin genellikle birincil meslekleri farklı olduğundan hasat günleri işlerini bırakıp çay toplamaktadırlar. Bu sebeple hasat çizelgesinin oluşturulmasında çiftçilerin gün tercihlerinin dikkate alınması toplumsal kalkınma ve tarıma teşvik adına önemlidir. Bunun yanı sıra alım yeri ve fabrika kapasitesi kısıtları da önem arz etmektedir. Alım yerlerindeki yoğunluklar çayların gölgelik alanlar yerine güneşte kalmasına sebebiyet verebilmektedir. Çayların güneşte kalması hasada zarar vermekte, yanma gibi durumlarda fabrika tarafından kabul edilmemelerine yol açmaktadır. Bu da çiftçilerin emeğini boşa çıkarmaktadır. Alım yeri kapasitesinin dikkate alınması bu tür mağduriyetleri ortadan kaldırabilmek ve milli servete sahip çıkmak adına önem taşımaktadır. Hasat sürecinde bu parametrelerin dikkate alınması çay tarımındaki ulusal verimliliği artırır. Bu durum da ülkenin ihracat rekabetçiliğinin bir adım öne taşınmasında rol oynar.

Bu çalışmada bir hasat optimizasyonu problemi olan çay hasadı çizelgeleme ele alınmıştır. Çiftçilerin haftalık hasat günü tercih kısıtlarını, alım yeri ve fabrika kapasite kısıtlarını içeren matematiksel modeller geliştirilmiştir. Probleme özgü bu modeller çay hasat sürecine yenilikçi bir yaklaşım sunduğundan hasat optimizasyonu literatürüne katkı yapmaktadır. Türkiye’de çay üretiminin büyük bir kısmı Rize’de gerçekleştiğinden (Çaykur, 2019); Rize’de yer alan, 988 çiftçi, 3392 dekar çay tarlası ve 12 alım yeri barındıran bir bölgede örnek uygulama gerçekleştirilmiştir. Bu uygulama ile önerilen modellerin performansları değerlendirilmiştir. Bu çalışma, çay hasadı çizelgelemeyi bahsi geçen özel kısıtlar ile ele alan ilk çalışma olduğundan literatürde yeni bir başlangıç noktası oluşturmaktadır.

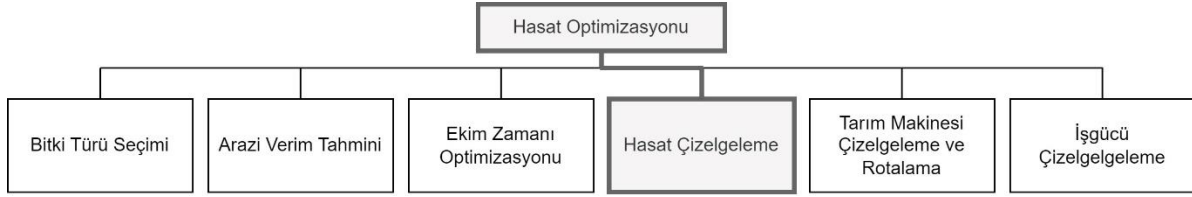
Çalışmanın planı şu şekildedir: İkinci bölümde çizelgeleme probleminden ve hasat çizelgeleme probleminden bahsedilmiştir. Üçüncü bölümde literatürde yapılan çalışmalar incelenmiştir. Çalışmada kullanılan yöntemlerden dördüncü bölümde bahsedilmiştir. Beşinci bölümde örnek uygulama gerçekleştirilmiştir. Altıncı bölümde çalışmanın sonucu yer almaktadır.

2. Çizelgeleme Problemi (Scheduling Problem)

Çizelgeleme problemleri birçok üretim ve hizmet sektöründe sıklıkla karşılaşılan problemlerdir. Bu problemlerin çözümü, belirli kaynakların belirli görevlere atanmasını kapsar. Atama esnasında problemlere özgü birçok kriter bulunabilmektedir (Ceylan vd., 2019). Çizelgeleme konusunda; personel çizelgeleme (Ünal ve Eren, 2016; Varlı ve Eren, 2017), iş çizelgeleme (Fanjul-Peyro vd., 2019; Lei vd., 2021; Lei ve Liu, 2020), ders programı çizelgeleme (Çolak ve Yiğit, 2021; Eren vd., 2018; Yurtsal ve Kaynar, 2022), bakım çizelgeleme (Cullum vd., 2018; Dündar vd., 2021; Özcan vd., 2020) gibi alanlarda yapılmış birçok çalışma mevcuttur. Kullanılan yöntemlerin bazıları; hedef programlama (Ceylan vd., 2019; Ünal ve Eren, 2016), yapay arı kolonisi (Lei vd., 2021; Lei ve Liu, 2020), genetik algoritma (Yurtsal ve Kaynar, 2022) ve parçacık sürü optimizasyonu (Yurtsal ve Kaynar, 2022) yöntemleridir.

2.1. Hasat Çizelgeleme Problemi (Harvest Scheduling Problem)

Hasat çizelgeleme problemleri; hangi bitkinin ekilmesi gerektiği, hasadın ne zaman, hangi makine kullanılarak, hangi sistemle veya hangi rota ile yapılması gerektiği konusunda ortaya çıkmış hasat optimizasyonu problemleridir. Hasat çizelgeleme problemlerinin hasat optimizasyonu literatüründeki yeri Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Hasat çizelgeleme problemlerinin hasat optimizasyonu literatüründeki yeri (Harvest scheduling place in harvest optimization literature)

Hasat çizelgeleme uygulamaları kaynakların en verimli şekilde kullanılması, hasat miktarının maksimize edilmesi gibi amaçlar barındırır. Bu uygulamalar; çiftçileri tarıma teşvik etmek, fabrikaların veya çiftçilerin verimini artırmak ve toplumsal kalkınma adına önem arz etmektedir. Bazı hasat süreçleri çiftçi-fabrika iş birliği ile gerçekleşmektedir. Bu süreçlerde her iki tarafın da fayda değeri bulunur. Fayda değerleri, problemin kısıtları dahilinde kaynakları verimli kullanmak suretiyle optimize edilir. Gerçekleştirilen optimizasyon tek taraflı veya çift taraflı olabilir. Karşılıklı çıkar ilişkisine dayalı bu süreçlerin optimize edilmesi tarımda sürdürülebilirliği artırır.

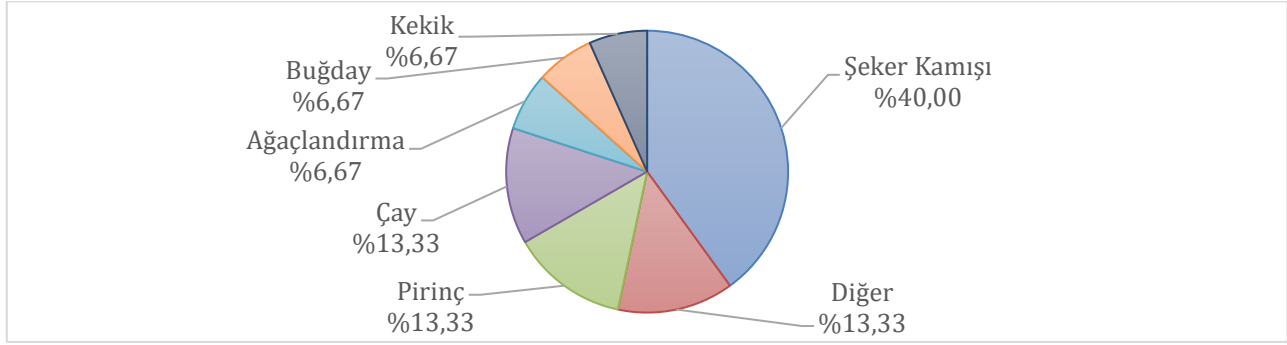
3. Literatür Araştırması (Literature Review)

Literatürde hasat optimizasyonu çeşitli isimler ile anılmaktadır: Ekim kararı optimizasyonu (Rollan vd., 2018; Sajid ve Hu, 2022), hasat çizelgeleme (Thuankaewsing vd., 2011), hasatta kullanılacak makinelerin çizelgelenmesi (Edwards vd., 2015; He vd., 2018a;), tarımda işgücü optimizasyonu (Busato ve Berruto, 2016). Çalışmalar; ele alınan bitki türü, yapılan optimizasyonun amacı ve kullanılan yöntemler açısından farklı niteliklere sahiptir. Çalışmaların bu niteliklere göre incelenmesi Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Literatür özeti (Literature review)

Yazar(lar)	Bitki Türü	Amaç	Yöntem
(Sarimehmet vd., 2023)	Çay	Hasat Optimizasyonu	Matematiksel modelleme
(Sajid ve Hu, 2022)	-	Ekim zamanı optimizasyonu	Yapay sinir ağları ve matematiksel modelleme
(Poltroniere vd., 2021)	Şeker Kamışı	Bitki türü seçim optimizasyonu	Matematiksel modelleme
(Budijati ve Iskandar, 2018)	Çay	Hasat zamanı optimizasyonu	Dinamik Programlama
(Rollan vd., 2018)	Ağaçlandırma	Bitki türü seçim optimizasyonu	Matematiksel modelleme
(He vd., 2018a)	Buğday	Tarım makinesi çizelgeleme	Tabu arama
(He vd., 2018b)	Pirinç	Tarım makinesi rotalama	Matematiksel modelleme
(Busato ve Berruto, 2016)	Pirinç	İşgücü optimizasyonu	Simülasyon
(Edwards vd., 2015)	-	Tarım makinesi çizelgeleme	Tabu arama
(Thuankaewsing vd., 2011)	Şeker Kamışı	Arazi verim tahmini ve ardından hasat çizelgeleme	Yapay sinir ağları ve matematiksel modelleme
(Grunow vd., 2007)	Şeker Kamışı	Yetiştirme ve hasat optimizasyonu	Matematiksel modelleme
(Naghdi Badi vd., 2004)	Kekik	Hasat zamanının verime etkisi	İstatistiksel yöntemler
(Salassi vd., 2002)	Şeker Kamışı	Hasat sistemi seçimi	Matematiksel modelleme
(Higgins vd., 1998)	Şeker Kamışı	Hasat zamanı ve hasat yaşına göre gelir optimizasyonu	Matematiksel modelleme
(Astika vd., 1997)	Şeker Kamışı	Ekim ve hasat zamanı optimizasyonu	Matematiksel modelleme
Bu çalışma	Çay Bitkisi	Hasat çizelgeleme	Matematiksel Modelleme

Çalışmaların ele aldıkları bitki türlerine göre dağılımı Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. İncelenen çalışmaların bitki türlerine göre dağılımı (Distribution of the studies examined by plant species)

Şekil 2, literatürde en çok ele alınan bitkilerin sırasıyla şeker kamışı (Poltroniere vd., 2021; Thuankaewsing vd., 2011; Grunow vd., 2007) ve pirinç (He vd., 2018b; Busato ve Berruto, 2016) olduğunu göstermektedir. Ağaçlandırma (Rollan vd., 2018), buğday (He vd., 2018a) ve kekik (Naghdi Badi vd., 2004) üzerine gerçekleştirilmiş hasat optimizasyonu çalışmaları da mevcuttur. Tarım makinesi rotalama ve çizelgeleme gibi konulara sahip bazı çalışmalarda ise bitki türü belirtilmemiştir (Sajid ve Hu, 2022; Edwards vd., 2015). Literatürde çay hasadı çizelgeleme konusunda yapılan bir çalışmada, çay tarlalarının denizden yüksekliği dikkate alınıp hasat zamanı çizelgeleme gerçekleştirilmiştir (Budijati ve Iskandar, 2018). Bir diğer çalışmada çiftçilerin alım yerlerini esnek hale getirmenin çiftçi tercihlerine uyuma etkisi incelenmiştir (Sarımehmet vd., 2023). Fakat yapılan literatür araştırmasına göre çay hasadı çizelgeleme konusunda çiftçilerin özellikle istemediği günler daha önce ele alınmamıştır. Çalışmamız bu yönüyle hasat optimizasyonu literatüründeki boşluğu doldurmaktadır.

Literatürdeki çalışmaların konuları incelendiğinde; ekim zamanı optimizasyonu (Sajid ve Hu, 2022), bitki türü seçim optimizasyonu (Poltroniere vd., 2021), tarım makinesi çizelgeleme ve rotalama (He vd., 2018a) gibi birçok amaç için hasat optimizasyonu gerçekleştirildiği görülmüştür. Çiftçilerin hasat günü tercihlerini dikkate alıp sürdürülebilir tarım için çiftçilerin ve fabrikaların kazançlarını optimize eden bir çalışmaya rastlanmamıştır. Çalışmamız bu yönüyle literatüre katkı sağlamaktadır.

Hasat optimizasyonu çalışmalarında matematiksel modelleme yönteminin sıklıkla kullanıldığı görülmektedir (Poltroniere vd., 2021; Rollan vd., 2018; He vd., 2018b; Grunow vd., 2007). Yapay sinir ağlarının (Sajid ve Hu, 2022), tabu arama yönteminin (He vd., 2018a) ve istatistiksel yöntemlerin (Naghdi Badi vd., 2004) kullanıldığı çalışmalar da mevcuttur. Bu çalışmada literatürde en çok tercih edilen yöntem olan matematiksel modelleme kullanılmıştır.

Hasat optimizasyonu literatüründe birçok bitki türünün farklı amaçlar doğrultusunda ele alındığı görülmektedir. Bu çalışmada gerçekleştirilen hasat optimizasyonunun literatüre katkıları aşağıdaki gibidir.

- Çay hasadı çizelgeleme probleminde çiftçilerin fayda değerlerini (hasat günü tercihleri) optimize eden matematiksel modeller geliştirilmiştir.
- Geliştirilen matematiksel modellerde çiftçilerin tercih ettiği haftalık hasat günü sayısı ve alım yeri kapasiteleri için probleme özgü kısıtlar bulunmaktadır.
- Çalışma çay hasat sürecine yenilikçi bir yaklaşım sunduğundan hasat optimizasyonu literatürüne katkı yapmaktadır.

4. Hedef Programlama (Goal Programming)

Hedef programlama (HP), 1955 yılında Charnes ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmayla ortaya çıkmıştır (Charnes vd., 1955). HP'nin ilk tanımının ise 1961 yılında Charnes ve Cooper tarafından yapıldığı görülmektedir (Winston, 1962). İlerleyen zamanlarda HP çok amaçlı modelleme alanında oldukça sık kullanılan etkin yöntemlerden biri durumuna gelmiştir (Dağdeviren ve Eren, 2001).

HP, problemin amaçlarının tümünü kısıtlara dönüştürebilmeye ve istenildiği taktirde kısıtları belirli bir önem sıralaması halinde matematiksel modele aktarmaya imkân vermektedir. Doğrusal programlama yalnızca tek bir amacı optimize etme konusunda karar vericilere yardımcı olmaktadır. Hedef programlama ise birden çok hedeften sapmaları minimize edip, birbiriyle çelişen amaçları daha doğru bir şekilde yönetmeyi sağlamaktadır (Leung vd., 2003). Genel bir HP modeli aşağıda verildiği gibidir:

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^M (d_i^+ + d_i^-) \quad (1)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij}x_{ij} - d_i^+ + d_i^- = b_i \quad \forall i \quad (2)$$

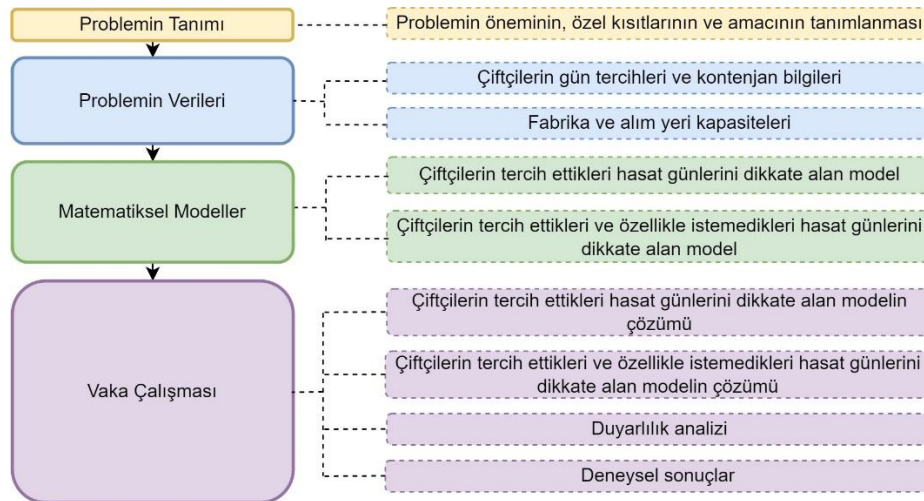
$$d_i^+ * d_i^- = 0 \quad \forall i \quad (3)$$

$$x_j, d_i^+, d_i^- \geq 0 \quad \forall i \quad (4)$$

Eşitlik (1) hedef programlama yönteminin amacı olan sapma değişkenlerinin minimizasyonunu ifade etmektedir. Sapma değişkenlerini oluşturan kısıt Eşitlik (2)'de gösterilmiştir. Eşitlik (3) sapma değişkenlerinin yalnızca tek yöne doğru olmasını sağlayan kısıtı ifade etmektedir. Eşitlik (4) ise karar değişkenlerinin ve sapma değişkenlerinin negatif olmama kısıtıdır. Bu temel HP modeli bir hedeften pozitif ve negatif sapmaları minimize etmektedir. HP yöntemi ile yalnızca negatif veya yalnızca pozitif sapmaların minimize edilebileceği gibi, birden çok hedeften sapmalar da minimize edilebilmektedir. Sapma değişkenlerine verilecek katsayılar ile sapmaların önem dereceleri belirtilebilir. Böylece öncelikli hedef programlama modeli kurulabilir.

5. Çay Hasadı Çizelgeleme (Tea Harvest Scheduling)

Çalışmada çay hasadı çizelgeleme konusunda bir hasat optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Uygulama; problemin tanımı, problemin verileri, matematiksel modeller ve örnek uygulama alt başlıklarında anlatılmıştır. Uygulamanın akış şeması Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Uygulamanın akış şeması (Flow chart of the application)

5.1. Problemin Tanımı (Problem Description)

Çay hasadı yılda ortalama üç kez gerçekleştirilmektedir. Hasat haricinde yapılacak işlemler; gübreleme, budama ve otların temizlenmesi olarak sayılabilir. Çay bitkisi sulak arazilerde yetiştiğinden sulamaya ihtiyaç duymamaktadır. Bundan ötürü çay bitkisi sürekli ilgi ve takip gerektirmez. Çiftçilikle mevsimlik olarak ilgilenen insanların genellikle birincil meslekleri farklıdır. Hasat günleri çiftçiler birincil mesleklerinden uzak kalmaktadırlar. Çiftçilerin hasat günü tercihlerinin dikkate alınması sürdürülebilir tarım ve tarıma teşvik adına önem arz etmektedir. Bu sebeple çalışmamızda bir çay hasadı çizelgeleme gerçekleştirilmiş ve çiftçilerin gün tercihleri dikkate alınmıştır.

Her çiftçi ikametgâh adresine göre bir alım yerine bağlıdır. Alım yerlerinde oluşan yoğunluklar çayların gölgelik alanlar yerine güneşte kalmasına sebep olabilmektedir. Hasadın güneşte fazla bekletilmesi çayları yakmakta, bir kısmının veya tamamının fabrika tarafından reddedilmesine yol açmaktadır. Gübrelenen, yabancı otlarından temizlenen, zamanı gelince hasat edilen ve alım yerine taşınan bu çayların reddedilmesi; çiftçinin bütün emeğini boşa çıkarmakta, milli serveti israf etmektedir. Bu sebeple çalışmamızda bir çay hasadı çizelgeleme gerçekleştirilmiş ve alım yeri kapasiteleri dikkate alınmıştır.

5.2. Problemin Verileri (Problem Data)

Örnek uygulama Rize’de 988 çiftçinin ve 3392 dekar çay tarlasının bulunduğu bir bölgede gerçekleştirilmiştir. Bu bölgede 12 alım yeri bulunmaktadır ve bütün alım yerleri tek bir fabrikaya bağlıdır. Fabrikanın ele alınan bölge için kapasitesi günlük 288 tondur. Alım yeri kapasiteleri her gün aynı olup Tablo 2’de verildiği gibidir.

Tablo 2. Alım yerlerinin günlük kapasiteleri (Daily capacity of purchase places)

Alım Yeri	Kapasite (kg)
1	32827
2	33452
3	25021
4	12278
5	16679
6	11719
7	14612
8	37289
9	41125
10	31542
11	17984
12	20207

Kişisel veriler korunarak çiftçilerin arazilerinin dekar bilgileri alınmıştır. Uzman görüşüne göre dekar başına 500 kg olacak şekilde haftalık kontenjan belirlenmiştir. Haftalık kontenjan çiftçilerin adil bir şekilde satış yapmaları açısından önemlidir. Haftanın altı günü çay satışı yapılabilmektedir. Uygulamada, çiftçilerin haftalık hasat günü sayısı ve gün tercihleri belirlenmiştir. Bu tercihlerin oluşturulması esnasında öncelikle bir normalize değer hesaplanmıştır. Normalize değer her çiftçinin haftalık kontenjanının, maksimum kontenjana bölünmesinden meydana gelmektedir. Bu normalize değere göre hasat günü sayılarının belirlenmesi için kullanılacak aralıklar uzman görüşü desteği ile oluşturulmuştur. Tablo 3’te bu aralıklar gösterilmiştir.

Tablo 3. Çiftçilerin hasat günü sayısı tercihleri (Harvest day number of farmers preferences)

Normalize değer aralığı	Hasat günü sayısı
[0 - 0,1)	1
[0,1 - 0,15)	2
[0,15 - 0,2)	3
[0,2 - 0,3)	4
[0,3 - 0,4)	5
[0,4 - 1]	6

Belirlenen hasat günü sayısına göre çiftçilerin dağılımı Tablo 4’teki gibidir.

Tablo 4 Haftalık hasat günlerine göre çiftçi sayıları (Numbers of the farmers in terms of the daily harvest)

Haftalık Hasat Günü	Çiftçi Sayısı
1	363
2	267
3	155
4	144
5	38
6	21

Çiftçilerin gün tercihleri, haftalık hasat günü sayısına göre rastgele bir şekilde yapılmıştır. Buna ek olarak istenmeyen günler de belirlenmiştir. Haftalık hasat günü sayısı beşten küçük olan çiftçiler için istenmeyen bir gün rastgele olarak belirlenmiştir. Hasat günü sayısı beş olanların istemeyecekleri yalnızca bir gün kaldığından ve

hasat günü sayısı altı olanların istemeyecekleri gün kalmadığından bu çiftçiler adına istenmeyen gün tercihi yapılmamıştır.

5.3. Matematiksel Modeller (Mathematical Models)

Çay hasadı çizelgeleme problemine farklı açılardan çözüm üreten 2 farklı matematiksel model geliştirilmiştir. Modellerin özellikleri Tablo 5'te gösterilmiştir.

Tablo 5. Önerilen matematiksel modellerin özellikleri (Characteristics of proposed mathematical model)

Model	Parametreler			Amaç
	Kaç Gün	Hangi Günler	İstenmeyen Günler	
Çiftçilerin tercih ettikleri hasat günlerini dikkate alan model	Çiftçi belirler	Çiftçi tercih eder	Dikkate alınmamıştır	Çiftçi Tercihlerine Uyum
Çiftçilerin tercih ettikleri ve özellikle istemedikleri hasat günlerini dikkate alan model	Çiftçi belirler	Çiftçi tercih eder	Çiftçi tercih eder	

Matematiksel modellerde kullanılan notasyonlar aşağıda verilmiştir.

İndisler

c: Çiftçi indisi (1..988)

a: Alım yeri indisi (1..12)

g: Gün indisi (1..6)

Parametreler

k_{ag} : *a*. alım yerinin *g*. gün kapasitesi (kg)

f_g : *g*. gün fabrikanın kapasitesi (kg)

m_c : *c*. çiftçinin haftalık kontenjani (kg)

I_{ca} : *c*. çiftçinin *a*. alım yerine ait olması (1:ait, 0:ait değil)

g_c : *c*. çiftçinin haftada kaç gün hasat yapmak istediği

p_{cg} : *c*. çiftçinin *g*. gün satış yapmak istemesi (1:istiyor, 0:istemiyor)

j_{cg} : *c*. çiftçinin *g*. gün hasat yapmayı özellikle istememesi (1:hasat yapmak istemiyor, 0:istememe durumu yok,)

M: yeterli büyüklükteki bir sayı

Sapma değişkenleri

d_{cg} : İstenen günler için sapma değişkenleri (1: sapma var, 0:sapma yok)

t_{cg} : İstenmeyen günler için sapma değişkenleri (1: sapma var, 0:sapma yok)

Karar değişkenleri

X_{cg} : *c*. çiftçinin *g*. güne atanması (1:atandı, 0:atanmadı)

5.3.1. Çiftçilerin Tercih Ettikleri Hasat Günlerini Dikkate Alan Model (The Model That Takes Into Account the Harvest Days Preferred by the Farmers)

Bu modelde çiftçilerin gün tercihlerine olabildiğince uymak amaçlanmıştır. Geliştirilen hedef programlama modeli şu şekildedir.

$$\text{Min } Z = \sum_{c=1}^{988} \sum_{g=1}^6 d_{cg} \quad (5)$$

Kısıtlar:

$$x_{cg} - p_{cg} + d_{cg} \geq 0 \quad \forall c, g \quad (6)$$

$$\sum_{g=1}^6 x_{cg} = \sum_{g=1}^6 p_{cg} \quad \forall c, g \quad (7)$$

$$\sum_{c=1}^{988} (I_{ca} x_{cg} (m_c / g_c)) \leq k_{ag} \quad \forall a, g \quad (8)$$

$$\sum_{c=1}^{988} (x_{cg} (m_c / g_c)) \leq f_g \quad \forall g \quad (9)$$

$$x_{cg}, d_{cg} 0 \text{ veya } 1 \quad \forall c, g \quad (10)$$

Eşitlik (5) sapma değişkenlerinin minimizasyonunu içeren amaç fonksiyonunu ifade etmektedir. Eşitlik (6) sapma değişkenlerini oluşturan kısıtı ifade etmektedir. Eşitlik (7) çiftçilerin haftada atanması gerektiği kadar güne atanmasını sağlamaktadır. Eşitlik (8) alım yerinin kapasite kısıtlarını ifade etmektedir. Eşitlik (9) fabrikanın kapasite kısıtıdır ve günlük olarak fabrikanın ele alınan bölge için ayırdığı kapasiteyi ihtiva eder. Eşitlik (10) karar değişkenlerinin ve sapma değişkenlerinin 0 veya 1 olma kısıtını ifade etmektedir.

5.3.2. Çiftçilerin Tercih Ettikleri ve Özellikle İstemedikleri Hasat Günlerini Dikkate Alan Model (The Model That Takes Into Account the Harvest Days That Farmers Prefer And Especially Do Not Prefer)

Bu model çiftçilerin tercih ettikleri günlerin yanı sıra özellikle istemedikleri bir günü de dikkate almaktadır. Çizelgeleme esnasında çiftçiler bu günlere olabildiğince atanmamaya çalışılmıştır. Bu modelde; temel modelde yer alan Eşitlik (5), Eşitlik (11) ile değiştirilmiştir. Modele Eşitlik (12) eklenmiştir. Eşitlik (10), Eşitlik (13) şeklinde güncellenmiştir. Diğer kısıtlar temel model ile aynıdır.

$$\text{Min } Z = \sum_{c=1}^{988} \sum_{g=1}^6 (d_{cg} + t_{cg}) \quad (11)$$

Kısıtlar:

Eşitlik (6), Eşitlik (7), Eşitlik (8), Eşitlik (9)

$$M (1 - x_{cg}) \geq j_{cg} - t_{cg} \quad \forall c, g \quad (12)$$

$$x_{cg}, d_{cg}, t_{cg} 0 \text{ veya } 1 \quad \forall c, g \quad (13)$$

Eşitlik (11) tercih edilen günlerden sapmaları ve istenmeyen günlere atanmaları minimize etmektedir. Eşitlik (12) istenmeyen günlerin sapma değişkeni kısıtıdır. Eşitlik (13) karar değişkenlerinin ve sapma değişkenlerinin 0 veya 1 olma kısıtını ifade etmektedir.

5.4. Vaka Çalışması (Case Study)

Önerilen matematiksel modeller IBM ILOG CPLEX Optimization Studio 12.8.0 (COS) ve Python 3.7.7'de COS'un uygulama programlama arayüzü (API) kullanılarak kodlanmış ve çözümler bu yazılımlardan elde edilmiştir. Model çözümünde Intel(R) Core(TM) i7-7700HQ CPU @ 2.80GHz 2.81 GHz, 8 GB RAM özelliklerine sahip bir kişisel bilgisayar kullanılmıştır.

5.4.1. Çiftçilerin Tercih Ettikleri Hasat Günlerini Dikkate Alan Modelin Sonuçları (The Results Of The Model That Takes Into Account the Harvest Days Preferred by the Farmers)

988 çiftçinin yapması gereken 2254 hasat günü tercihi bulunmaktadır. Bu tercihler çiftçiler adına rastgele üretilmiş ve model çözülmüştür. COS ile gerçekleştirilen çözüm 2,22 saniye sürmüştür. Çizelge incelendiğinde 2254 hasat günü tercihinden 2188 adetine uyulduğu görülmüştür. Buna göre çiftçilerin hasat günü tercihlerine uyum oranı %97,07 olarak hesaplanmıştır. İncelenmesi için birinci alım yerine bağlı 116 çiftçinin gün tercihlerine atanma durumları Tablo 6'da gösterilmiştir. Tablodaki yeşil hücreler çiftçinin o günü tercih edip atandığı, kırmızı hücreler ise isteyip atanmadığı anlamına gelmektedir. Boş hücreler çiftçinin o günü tercih etmediği anlamına gelmektedir.

Tablo 6. Birinci alım yerinin birinci model ile oluşturulmuş çizelgesi (The schedule of the first purchase location with the first model)

Çiftçi	Gün						Çiftçi	Gün						Çiftçi	Gün						Çiftçi	Gün					
	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6
1							30						59						88								
2							31						60						89								
3							32						61						90								
4							33						62						91								
5							34						63						92								
6							35						64						93								
7							36						65						94								
8							37						66						95								
9							38						67						96								
10							39						68						97								
11							40						69						98								
12							41						70						99								
13							42						71						100								
14							43						72						101								
15							44						73						102								
16							45						74						103								
17							46						75						104								
18							47						76						105								
19							48						77						106								
20							49						78						107								
21							50						79						108								
22							51						80						109								
23							52						81						110								
24							53						82						111								
25							54						83						112								
26							55						84						113								
27							56						85						114								
28							57						86						115								
29							58						87						116								

Birinci alım yerine bağlı çiftçilerin toplam 267 gün tercihi bulunmaktadır. Oluşturulan çizelge ise 261 gün tercihinin uymaktadır. Bu sonuca göre birinci alım yerine bağlı çiftçilerin gün tercihlerine uyum oranı %97,75 olarak bulunmuştur. Birinci alım yerinin günlük kapasitesi 32827 kilogramdır. Tablo 7'de birinci alım yerinde satışı yapılacak çay miktarları ve kapasite kullanım oranları gösterilmiştir.

Tablo 7. Birinci alım yerinin birinci modele göre kapasite kullanımı (Capacity usage for the first model of the first purchase location)

Gün	Toplam Hasat Miktarı (kg)	Kapasite Kullanımı
1	32621,7	%99,37
2	32573,0	%99,23
3	29638,7	%90,29
4	32760,7	%99,80
5	31414,0	%95,70
6	31952,4	%97,34

Tablo 7 incelendiğinde birinci alım yerinde kapasite kısıtlarına uyulduğu görülmektedir.

5.4.2. Çiftçilerin Tercih Ettikleri ve Özellikle İstemedikleri Hasat Günlerini Dikkate Alan Modelin Sonuçları (The Results of the Model That Takes Into Account the Harvest Days That Farmers Prefer and Especially Do Not Prefer)

Model 2'de 2254 tercih edilen gün ve 929 istenmeyen gün olmak üzere toplam 3183 tercih bulunmaktadır. Bu tercihler çiftçiler adına rastgele üretilmiş ve model çözülmüştür. Çizelge incelendiğinde 3183 hasat günü tercihinden 3117 adetine uyulduğu görülmüştür. Buna göre çiftçilerin hasat günü tercihlerine uyum oranı %97,93

olarak hesaplanmıştır. İncelenmesi için birinci alım yerine bağlı 116 çiftçinin gün tercihlerine atanma durumları Tablo 8'de gösterilmiştir. Tablodaki yeşil hücreler çiftçinin o günü tercih edip atandığı, kırmızı hücreler isteyip atanmadığı, mavi hücreler istemeyip atanmadığı anlamına gelmektedir. Herhangi bir çiftçinin istemeyip atandığı gün bulunmamaktadır. Boş hücreler çiftçinin o günü tercih etmediği anlamına gelmektedir.

Tablo 8. Birinci alım yerinin ikinci model ile oluşturulmuş çizelgesi (The schedule of the first purchase location with the second model)

Çiftçi	Gün						Çiftçi	Gün						Çiftçi	Gün						Çiftçi	Gün					
	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6
1							30						59						88								
2							31						60						89								
3							32						61						90								
4							33						62						91								
5							34						63						92								
6							35						64						93								
7							36						65						94								
8							37						66						95								
9							38						67						96								
10							39						68						97								
11							40						69						98								
12							41						70						99								
13							42						71						100								
14							43						72						101								
15							44						73						102								
16							45						74						103								
17							46						75						104								
18							47						76						105								
19							48						77						106								
20							49						78						107								
21							50						79						108								
22							51						80						109								
23							52						81						110								
24							53						82						111								
25							54						83						112								
26							55						84						113								
27							56						85						114								
28							57						86						115								
29							58						87						116								

Birinci alım yerine bağlı çiftçilerin toplam 379 gün tercihi bulunmaktadır. Oluşturulan çizelge ise 373 gün tercihinin uymaktadır. Bu sonuca göre birinci alım yerine bağlı çiftçilerin gün tercihlerine uyum oranı %98,42 olarak bulunmuştur. Birinci alım yerinin günlük kapasitesi 32827 kilogramdır. Tablo 9'da birinci alım yerinde satışı yapılacak çay miktarları ve kapasite kullanım oranları gösterilmiştir.

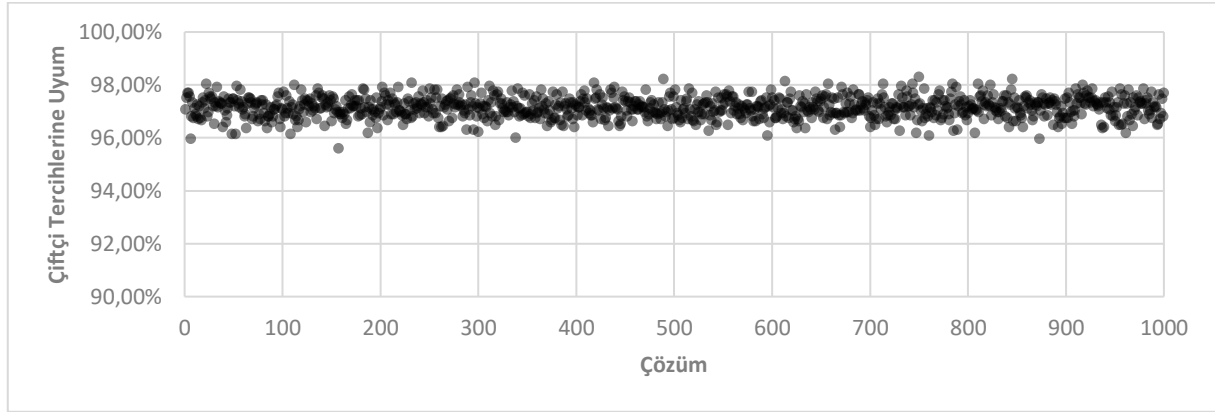
Tablo 9. Birinci alım yerinin ikinci modele göre kapasite kullanımı (Capacity usage for the second model of the first purchase location)

Gün	Toplam Hasat Miktarı (kg)	Kapasite Kullanımı
1	32659,21	%99,49
2	32023,25	%97,55
3	30890,67	%94,10
4	32760,71	%99,80
5	30301,5	%92,31
6	32325,17	%98,47

Tablo 9 incelendiğinde birinci alım yerinde kapasite kısıtlarına uyulduğu görülmektedir.

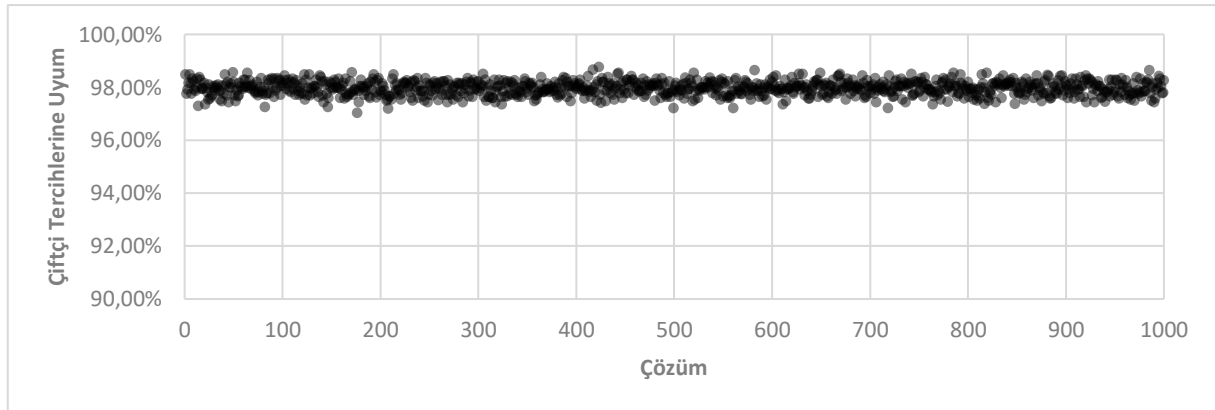
5.4.3. Duyarlılık Analizi (Sensitivity Analysis)

Matematiksel modellerin çözümünde rassal bir tercih matrisi kullanıldığından modellerin farklı tercih matrislerindeki duyarlılığı analiz edilmiştir. Her iki modelde kullanılmak üzere 1000 rassal tercih matrisi oluşturulmuştur. Bu tercih matrisleri Python ve COS kullanılarak çözülmüştür. Çiftçilerin tercih ettikleri hasat günlerini dikkate alan modelin duyarlılık analizi Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4. Çiftçilerin tercih ettikleri hasat günlerini dikkate alan modelin duyarlılık analizi (Sensitivity analysis of the model, which takes into account the harvest days preferred by farmers)

Çiftçilerin tercih ettikleri ve özellikle istemedikleri hasat günlerini dikkate alan modelin duyarlılık analizi Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5. Çiftçilerin tercih ettikleri ve özellikle istemedikleri hasat günlerini dikkate alan modelin duyarlılık analizi (Sensitivity analysis of the model, which takes into account the harvest days that farmers prefer and especially do not prefer)

Çözüm sonuçlarına göre modellerin duyarlılık analizi sonuçları Tablo 10'da özetlenmiştir.

Tablo 10. Duyarlılık analizi sonuçları (Results of the sensitivity analysis)

Model	Ortalama çiftçi tercihlerine uyum oranı	Maksimum çiftçi tercihlerine uymayan gün sayısı	Minimum çiftçi tercihlerine uymayan gün sayısı	Çiftçi tercihlerine uymayan gün sayıları standart sapması
Çiftçilerin tercih ettikleri hasat günlerini dikkate alan model	%97,15	99	38	17,68
Çiftçilerin tercih ettikleri ve özellikle istemedikleri hasat günlerini dikkate alan model	%97,98	94	39	16,95

Tablo 10 incelendiğinde her iki modelin de fabrika ve alım yeri kapasitesi kısıtları altında ortalama %97 oranında çiftçi tercihlerine uyduğu gözlemlenmiştir. Bu durum modellerin başarısını ispatlamaktadır.

5.4.4. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

Rize’de 988 çiftçi, 3392 dekar çay tarlası, 12 alım yeri ve bir fabrika ele alınarak yapılan örnek uygulama ile geliştirilen matematiksel modellerin başarısı ispatlanmıştır. Tablo 11’de modellerin dikkate aldıkları hasat günü tercihi sayıları, bu tercihlere uyan atama sayıları, tercihlere uyum oranları ve duyarlılık analizine göre ortalama çiftçi tercihlerine uyum oranı gösterilmiştir.

Tablo 11. Deneysel sonuçlar (Experimental results)

Model	Hasat günü tercihi sayısı	Özellikle istenmeyen hasat günü tercihi sayısı	Tercihlere uyan atama sayısı	Çiftçi tercihlerine uyum oranı	Duyarlılık analizine göre ortalama çiftçi tercihlerine uyum oranı
Çiftçilerin tercih ettikleri hasat günlerini dikkate alan model	2254	0	2188	97,07%	97,15%
Çiftçilerin tercih ettikleri ve özellikle istemedikleri hasat günlerini dikkate alan model	2254	929	3117	97,93%	97,98%

Tablo 11 incelendiğinde, yapılan vaka çalışmasında ortalama %97 oranında çiftçi tercihlerine uyulduğu görülmektedir. Ayrıca yapılan duyarlılık analizi sonucunda bin adet tercih matrisi ile modellerin test edilmesi ve ortalama %97 tercihlere uyum oranının yakalanması modellerin farklı tercih matrislerindeki başarısını ispatlamaktadır.

6. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Çalışmada sürdürülebilir tarım için bir hasat optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Çay hasadı çizelgeleme konusunda çiftçilerin hasat günü tercihlerini dikkate alan matematiksel modeller önerilmiştir. 988 çiftçinin, 3392 dekar çay tarlasının, 12 çay alım yerinin ve bir fabrikanın bulunduğu bir bölgede örnek vaka çalışması gerçekleştirilmiştir. Yapılan duyarlılık analizi ile farklı tercih matrislerinde modellerin başarısı test edilmiştir. Oluşturulan hasat çizelgelerinin; fabrika ve alım yeri kapasite kısıtları dahilinde, çiftçilerin hasat günü tercihlerine uyma konusunda ortalama %97 oranında başarılı oldukları görülmüştür. Elde edilen sonuçlar, önerilen matematiksel modellerin çay tarımında sürdürülebilirliği artıracaklarını göstermektedir.

Gelecek çalışmalarda çay hasadı çizelgeleme problemine araç rotalama ve personel çizelgeleme problemleri de dahil edilebilir. Çiftçilerin hangi günler hasat yapacağını yanı sıra fabrikanın araçlarının hangi rotayı izleyeceği, hangi alım yerlerine uğrayacağı kararı verilebilir. Şoförler ve alım yeri görevlileri için personel çizelgeleme çalışması gerçekleştirilebilir. Daha büyük problemler ele alınıp fabrikaya bağlı olan bütün alım yerleri için çizelgeleme gerçekleştirilebilir. Modellerin karmaşıklığı arttığı için sezgisel veya meta-sezgisel yöntemlerle çözümler gerçekleştirilebilir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

Kaynaklar (References)

- Andrei, J. V., Popescu, G. H., Nica, E., Chivu, L., 2020. The Impact of Agricultural Performance on Foreign Trade Concentration and Competitiveness: Empirical Evidence From Romanian Agriculture. *Journal of Business Economics and Management*, 21(2), 317–343.
- Astika, I. W., Sasao, A., Djojomartono, M., Pertiwi, S., Wiryokusumo, H., 1997. Optimization of Sugarcane Planting-harvesting Schedule for Dry Land Sugarcane Plantations. *Journal of the Japanese Society of Agricultural Machinery*, 59(5), 73–81.
- Budijati, S. M., Iskandar, B. P., 2018. Dynamic programming to solve picking schedule at the tea plantation. *International Journal of Engineering and Technology*, 7(4), 285-290.
- Busato, P., Berruto, R., 2016. Minimising Manpower in Rice Harvesting and Transportation Operations. *Biosystems Engineering*, 151, 435–445.
- Ceylan, Z., Karan, R. E., Bakırcı, Ç., Sabuncu, S., 2019. Single Machine Scheduling Problem with Sequence Dependent Setup Times: An Application in White Goods Industry. *International Journal of Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies*, 3(1), 14–21.

- Charnes, A., Cooper, W. W., Ferguson, R. O., 1955. Optimal estimation of executive compensation by linear programming. *Management Science*, 1(2), 138–151.
- Çolak, R., Yiğit, T., 2021. Üniversite Ders Çizelgeleme Probleminin Genetik Algoritma ile Optimizasyonu. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 9(6), 150–166.
- Cullum, J., Binns, J., Lonsdale, M., Abbassi, R., Garaniya, V., 2018. Risk-Based Maintenance Scheduling with Application to Naval Vessels and Ships. *Ocean Engineering*, 148, 476–485.
- Çaykur 2019 Çay Sektörü Raporu. (2022, December 16). <https://www.caykur.gov.tr/Pages/Yayinlar/YayinDetay.aspx?ItemType=5&ItemId=721>
- Dağdeviren, M., Eren, T., 2001. Tedarikçi Firma Seçiminde Analitik Hiyerarşi Prosesi ve 0-1 Hedef Programlama Yöntemlerinin Kullanılması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 16(1), 41–52.
- Dündar, D. R., Sarıççek, İ., Yazıcı, A., 2021. Bakım Faaliyetlerini Dikkate Alan Makine Çizelgeleme: Literatür Araştırması. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 26(2), 737–756.
- Edwards, G., Sørensen, C. G., Bochtis, D. D., Munkholm, L. J., 2015. Optimised Schedules for Sequential Agricultural Operations Using a Tabu Search Method. *Computers and Electronics in Agriculture*, 117, 102–113.
- Eren, T., Bedir, N., Taş, C., 2018. 0-1 Tamsayılı Programlama ile Ders Programı Çizelgeleme Probleminin Çözümü: Bir Yükseköğretim Kurumunda Uygulama. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 3(3), 166–175.
- Fanjul-Peyro, L., Ruiz, R., Perea, F., 2019. Reformulations and an Exact Algorithm for Unrelated Parallel Machine Scheduling Problems with Setup Times. *Computers & Operations Research*, 101, 173–182.
- Grunow, M., Günther, H.-O., Westin, R., 2007. Supply Optimization for the Production of Raw Sugar. *International Journal of Production Economics*, 110(1), 224–239.
- He, P., Li, J., Wang, X., 2018a. Wheat Harvest Schedule Model for Agricultural Machinery Cooperatives Considering Fragmental Farmlands. *Computers and Electronics in Agriculture*, 145, 226–234.
- He, P., Li, J., Zhang, D., Wan, S., 2018b. Optimisation of the Harvesting Time Of rice in Moist and Non-Moist Dispersed Fields. *Biosystems Engineering*, 170, 12–23.
- Higgins, A. J., Muchow, R. C., Rudd, A. v, Ford, A. W., 1998. Optimising Harvest Date in Sugar Production: A Case Study for the Mossman Mill Region in Australia: I. Development Of Operations Research Model And Solution. *Field Crops Research*, 57(2), 153–162.
- Karlı, B., Gül, M., Kadakoğlu, B., 2018. Türkiye’de Tarımda Üretici Örgütlenmesinin Önemi ve Gelişimi. *Akademia Sosyal Bilimler Dergisi*, 318–329.
- Lei, D., Liu, M., 2020. An Artificial Bee Colony with Division for Distributed Unrelated Parallel Machine Scheduling with Preventive Maintenance. *Computers & Industrial Engineering*, 141, 106320.
- Lei, D., Yuan, Y., Cai, J., 2021. An Improved Artificial Bee Colony for Multi-Objective Distributed Unrelated Parallel Machine Scheduling. *International Journal of Production Research*, 59(17), 5259–5271.
- Leung, S. C. H., Wu, Y., Lai, K. K., 2003. Multi-Site Aggregate Production Planning with Multiple Objectives: A Goal Programming Approach. *Production Planning & Control*, 14(5), 425–436.
- Naghdi Badi, H., Yazdani, D., Ali, S. M., Nazari, F., 2004. Effects of Spacing and Harvesting Time on Herbage Yield and Quality/Quantity of Oil in Thyme, *Thymus Vulgaris* L. *Industrial Crops and Products*, 19(3), 231–236.
- Özcan, E., Danişan, T., Eren, T., 2020. Hidroelektrik Santrallarda Bakım Çizelgeleme İçin Hibrid Bir Model Önerisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 35(4), 1815–1828.
- Poltroniere, S. C., Aliano Filho, A., Caversan, A. S., Balbo, A. R., Florentino, H. de O., 2021. Integrated Planning for Planting and Harvesting Sugarcane and Energy-Cane for the Production of Sucrose and Energy. *Computers and Electronics in Agriculture*, 184, 105956.
- Rollan, C. D., Li, R., San Juan, J. L., Dizon, L., Ong, K. B., 2018. A Planning Tool for Tree Species Selection and Planting Schedule in Forestation Projects Considering Environmental and Socio-Economic Benefits. *Journal of Environmental Management*, 206, 319–329.
- Sajid, S. S., Hu, G., 2022. Optimizing Crop Planting Schedule Considering Planting Window and Storage Capacity. *Frontiers in Plant Science*, 13.
- Sarimehmet, B., Pınarbaşı, M., Alakaş, H.M., Eren, T. 2023. Çiftçi ve Fabrika İş Birliği ile Sürdürülebilir Hasat Çizelgeleme. 5th International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences, 1(1), 702-707.
- Salassi, M. E., Breaux, J. B., Naquin, C. J., 2002. Modeling Within-Season Sugarcane Growth for Optimal Harvest System Selection. *Agricultural Systems*, 73(3), 261–278.
- Thuankaewsing, S., Pathumnakul, S., Piewthongngam, K., 2011. Using an Artificial Neural Network and a Mathematical Model for Sugarcane Harvesting Scheduling. 2011 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, 308–312.
- Ünal, F. M., Eren, T., 2016. Hedef Programlama ile Nöbet Çizelgeleme Probleminin Çözümü. *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, 4(1), 28-37.
- Varlı, E., Eren, T., 2017a. Hemşire Çizelgeleme Problemi ve Hastanede Bir Uygulama. *Academic Platform - Journal of Engineering and Science*, 5(1), 34–40.
- Winston, C., 1962. *Management Models and Industrial Applications of Linear Programming*, Vol. 1 (A. Charnes and WW Cooper). *Society for Industrial and Applied Mathematics*, 4(1), 38-91.
- Yurtsal, A., Kaynar, O., 2022. Sezgisel Algoritmalar Yardımıyla Ders Programı Optimizasyonu. *Uluslararası Ekonomi ve Yenilik Dergisi*, 8(1), 1-18.



KİLİS'TE KONUTSAL SU TÜKETİMİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Yunus ÖZTÜRK^{1*}, Hüseyin Çağan KILINÇ², Halil İbrahim ABAMA³

¹ Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kilis/Türkiye

² İstanbul Aydın Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul/Türkiye

³ Devlet Su İşleri 20. Bölge Müdürlüğü, Kahramanmaraş/Türkiye

Anahtar Kelimeler

Kilis,
Su Getirme,
Su Temini,
Su Tüketimi,
Evsel Su Tüketimi.

Öz

Yerleşim birimlerinin içme, kullanma ve endüstri suyu ihtiyaçlarının doğru saptanması için, yerleşim biriminin nüfusu, sosyo-ekonomik yapısı ve proje hedef yılında bunların ne şekil alacağı doğru tahmin edilmelidir. Su ihtiyaçları, proje sahasına götürülecek hizmeti boyutlandırarak temel unsurların başında gelmektedir. Gelecekteki su tüketimi projeksiyonları için, mevcut su tüketimini doğru tespit etmek amacıyla detaylı bir araştırma yapılmalıdır. Bu durumda, su tüketimini etkilediği kabul edilen faktörler ile yerleşim birimindeki özel şartlar arasındaki korelasyonlar göz önüne alınarak gelecekteki su tüketim değerleri tahmin edilmelidir. Bu çalışmada, Kilis'te konutsal su tüketimini etkileyen faktörler incelenmiştir. Bu amaçla İl'de 228 abone ile yüz yüze görüşülerek mülakat (anket) çalışması yapılmıştır. Anket çalışması İl'in sosyo-ekonomik yapısına göre belirlenen abonelere uygulanmış olup, elde edilen sonuçlar Stepwise Yöntemi ve Regresyon Analizinde, kişi başına günlük su tüketimi bağımlı değişken ve su tüketimini etkileyen faktörler bağımsız değişken kabul edilerek, su tüketim sonuçları bulunmuştur. Bu sonuçlardan, İl'in gelecekteki su ihtiyacının tahmininde kullanılabilecek $y=ax^2+bx+c$ regresyon denklemleri elde edilmiştir.

FACTORS AFFECTING HOUSING WATER CONSUMPTION IN KILIS

Keywords

Kilis,
Water Supply,
Water Need,
Water Consumption,
Domestic Water Consumption.

Abstract

In order to accurately determine the drinking, utility and industrial water needs of the settlements, the population, socio-economic structure of the settlement and what shape these will take in the project target year should be accurately estimated. Water needs are one of the main factors that will determine the service to be delivered to the project site. For future water consumption projections, a detailed study should be conducted to accurately determine current water consumption. In this case, future water consumption values should be estimated by taking into account the correlations between the factors considered to affect water consumption and the special conditions in the settlement. In this study, the factors effecting current water consumption in Kilis province were examined. For this purpose, a face-to-face interview (survey) study was conducted with 228 subscribers in the province. The survey study was applied to the subscribers determined according to the socio-economic structure of the province, and the results obtained were determined by the Stepwise Method and Regression Analysis, by considering the daily water consumption per capita as the dependent variable and the factors affecting the water consumption as the independent variable, and the water consumption results were found. From these results, $y=ax^2+bx+c$ regression equations were obtained, which can be used in the estimation of the city's future water need.

Alıntı / Cite

Öztürk, Y., Kılınç, H.Ç., Abama, İ.H., (2023). Kilis'te Konutsal Su Tüketimini Etkileyen Faktörler, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(3), 939-956.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

Y. Öztürk, 0000-0001-8032-9292
H.Ç. Kılınç, 0000-0003-1848-2856
H.İ. Abama, 0000-0002-3993-7373

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	19.08.2022
Revizyon Tarihi / Revision Date	18.02.2023
Kabul Tarihi / Accepted Date	09.09.2023
Yayın Tarihi / Published Date	28.09.2023

* İlgili yazar / Corresponding author: ynsemre@kilis.edu.tr, +90-348-814-2666

FACTORS AFFECTING HOUSING WATER CONSUMPTION IN KILIS

Yunus ÖZTÜRK^{1†}, Hüseyin Çağan KILINÇ², Halil İbrahim ABAMA³

¹ Kilis 7 Aralık University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Civil Engineering, Kilis/Türkiye

² Istanbul Aydın University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Istanbul/Türkiye

³ 20th Regional Directorate of State Hydraulic Works, Kahramanmaraş/Türkiye

Highlights

- With rapid population growth, increasing industrialization, climate change and other environmental problems, the future of water, which is the source of life, and therefore humanity's future is under threat.
- Turkey is not a water-rich country as it is thought, but on the contrary, it is a country under water stress. If necessary measures are not taken for the protection and efficient use of water resources, it is expected to be among the countries experiencing water shortages.
- In this study; "Domestic water consumption", which has a large proportion in the consumption made from the water distribution systems in the settlements, was examined in the example of the central district of Kilis and "factors affecting the domestic water consumption" were determined.
- It is aimed to contribute to national and international studies on "Water Efficiency" with the "water supply" projects to be carried out within the framework of the findings.

Purpose and Scope

Research; To determine the daily water consumption values and future water needs per capita from the existing water supply and distribution system in Kilis; It was also made to contribute to the more efficient and ergonomic use of existing resources. With the publication of the findings obtained from this research, it was thought to contribute to the "water efficiency" studies that emerged as a result of "global climate change".

Design/methodology/approach

Kilis; Existing water resources, water transmission line, water storage structures and water distribution lines were examined. As a result of the examination, it was understood that 92.34% of the water consumed in the province was consumed in residences. Water consumption results were obtained by taking the l/k/g water consumption values (dependent variable) and the factors affecting water consumption (independent variable) related to this, using the survey study, multiple regression and least squares method.

Findings

- Average daily residential water consumption per person in Kilis; According to the measurements made from the mains and subscriber meters, respectively, 92.0 l and 52.0 l, water losses were found to be 44%.
- It has been determined from the questionnaires that "daily water consumption per capita" is directly related to 16 factors. It has been seen that the common denominator of these factors is education level and population density. In this context, daily water consumption will increase if the population density of housing in the city increases and the educational situation improves.
- When the water consumption values determined in Kilis are compared with the amount of water supplied to the city, when water losses and leaks are prevented, the existing drinking and utility water resources will be sufficient for many years.
- The use of off-grid water should be controlled and the water supplied from many underground water sources should be distributed through the network. The amount of water supplied to the city network must be measured, and meter readings must be done regularly and accurately. The measurement values made from the meters with the water supplied to the network should be constantly checked.

Originality

During the literature review process, it was concluded that the data obtained from previous studies and observation-based methods were used in dimensioning the water supply projects of the settlements. What makes this study unique is that although it is necessary in the "water supply" project studies carried out at the national and international level, it has not been applied frequently.

[†] Corresponding author: ynsemre@kilis.edu.tr, +90-348-814-2666

1. Giriş (Introduction)

Tüm dünyada olduğu gibi Türkiye’de de nüfus her geçen gün artmaktadır. Bu durum daha fazla doğal kaynağa ve temel besin malzemesine gereksinim duyan insan toplulukları oluşturmaktadır (Gökalp vd., 2018). Kilis’in nüfusunda da dünya ve ülke nüfuslarına paralel şekilde artışlar gözlenmektedir. Üniversite kurulması, Suriyeli sığınmacılar vb nedenlerden şehir merkezi nüfusunda öngörülmeven oranda artışlar olmuştur. Yerleşim birimlerinin alt yapı projeleri yapılırken ön görülen gelecek nüfuslarının tahmininin çok kolay olmadığı hesapta olmayan birçok pozitif ya da negatif gelişmenin olabileceği düşünülmelidir. İçme ve kullanma suyu temini projelerinde önemli bir faktör olan nüfus, belirlenen proje hedef yılı için doğru tahmin edilmediği takdirde önemli sorunlara neden olmaktadır. Kilis ili içme ve kullanma suyu ihtiyacı ve bu ihtiyaca göre yapılan su temini projesi bu bağlamda acilen gözden geçirilmelidir.

Tüm canlılar için vazgeçilmez bir kaynak olan suyun dünyadaki dağılımı dikkate alındığında su kaynaklarının oldukça az olduğu ve bu kaynakların dağılımının da çok dengeli olmadığı söylenebilir. Dünyadaki toplam su yaklaşık olarak 1386×10^6 km³/yıl olup bunun %97’sini tuzlu su kaynakları oluşturmaktadır. Geriye kalan %3 oranındaki tatlı su kaynaklarının %68’den fazlası buz ve buzulların içinde hapsolmuştur. Tatlı suyun diğer %30’u ise yer altındadır. İnsanların her gün kullandığı su kaynağının çoğunu teşkil eden nehirler, göller gibi yüzeysel tatlı su kaynaklarının miktarı, dünyadaki toplam suyun sadece %0,72’sinden (93120×10^6 km³/yıl) ibarettir. Diğer bir ifadeyle dünyadaki tatlı su miktarı çok kısıtlıdır (Demir, 1993).

Çalışma alanını oluşturan Kilis’te kullanılabilir toplam su miktarı $252,09 \times 10^6$ m³/yıl olup bunun $233,33 \times 10^6$ m³/yılı akarsu ve göllerde $18,76 \times 10^6$ m³/yılı ise yeraltı sularında toplanmaktadır (DSİ, 2013).

İnsanlar, günümüzde yaşamlarını kolaylaştıran birçok bilimsel ve teknolojik gelişmeyi kazanım olarak görmelerine rağmen, bu gelişmelerin doğal kaynaklar, özellikle su kaynakları üzerindeki olumsuz etkilerini göz ardı etmektedirler. Bu durum zaten az olan temiz ve içilebilir su kaynaklarının daha düzenli ve verimli kullanılmasını zorunlu kılmaktadır.

Dünyada yüzyılın en önemli sorunlarından biri, kullanılabilir su kaynaklarının azalması ve bunun sonucu gelişecek su kıtlığıdır. Bu nedenle alternatifi olmayan ve doğal bir kaynak olan suyun tüketiminde daha planlı, ekonomik ve sürdürülebilir su kaynakları yönetimi başlıca hedef olmalıdır. Su kaynaklarının planlanarak geliştirilmesi, kullanılması ve dağıtılması “su yönetimi” olarak tanımlanmaktadır. Politik ve teknik kararlar, su hakları, su tahsisini düzenleyen kurallar, çevrenin korunması, su fiyatlandırmasına ilişkin düzenlemeler, arazi kullanım ilkeleri, kullanıcıların katılımı gibi faaliyetleri kapsamaktadır. Türkiye’de su teminine ve korunmasına yönelik faaliyetler, birçok kamu kurum ve kuruluşlar tarafından yönetilmektedir (Aküzüm vd., 2010).

Dünyada ve Türkiye’de su kaynakları ile bu kaynaklardan temin edilerek yerleşim birimlerine arz edilen suyun yönetimi, mühendislik hizmetlerinin de önüne geçmiştir. Ayrıca suyun bilinçsiz bir şekilde tüketilmesi, hem yerleşim birimlerinde hem de doğada bulunan suyun israfında çok önemli görülmektedir. Bu çerçevede yerleşim birimlerinin su ihtiyaçlarının karşılanması kadar su iletim ve dağıtım tesislerinin yönetimine de özen gösterilmelidir.

Bu araştırma, Kilis ilinin (merkez ilçe) içme ve kullanma suyu ihtiyacının düzenli karşılanabilmesi için alınması gereken önlemlerin saptanması amacıyla yapılmıştır. Araştırmada mevcut konutsal su tüketimi ve su tüketimini etkileyen faktörler incelenmiştir.

3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

2.1. Materyal (Material)

Kilis, tarihsel geçmişi oldukça eskilere dayanan Akdeniz Bölgesinden Güneydoğu Anadolu Bölgesine geçiş alanında olup; Gaziantep ve Suriye ile komşu bir sınır kentidir. Yüzölçümü 1521 km² ve rakımı ortalama 600-750 m arasında değişmekte olan Kilis ili 36°45’ ve 37°45’ enlemleri ile 37°00’ ve 36°45’ boylamları arasında yer almaktadır (ÇED, 2011).

Sanayisinin en belirgin özelliği tarımsal ve hayvansal kaynak potansiyeline yönelik olmasıdır. İl’in sanayileşmesine ve istihdam oluşturulmasına önemli katkı sağlayacak olan “Kilis Organize Sanayi Bölgesi” 1994 yılında kurulmuştur. Kilis 2007 yılında “Kalkınmada I. Derecede Öncelikli Bölgeler” programı kapsamına alınmıştır (TSO, 2013). Şehrin sosyo-ekonomik yapısına önemli katkı sağlayan “Kilis 7 Aralık Üniversitesi” 2007 yılında kurulmuştur.

Kilis ili içme ve kullanma suyu tesisleri çeşitli tarihlerde şehrin büyümesi ve ihtiyaç durumuna göre değerlendirilerek yapılmış ve yenilene gelmiştir. Şehrin İller Bankası'nca ilk içme ve kullanma suyu projesi 1976 yılında yapılmıştır. Daha sonraları projeye ilaveler yapılarak bugüne gelinmiştir. Mevcut içme ve kullanma suyu sisteminde; Yeni yapan kaynağı, Narlıca kaynağı, Öncüpınar derin kuyuları, Akpınar kaynağı ve derin kuyuları, Seve barajı ve Konak göleti kaynaklarından su alan, 78000 m çeşitli çap ve cins borularla oluşturulmuş isale hattı, 7 adet su deposu, bir arıtma tesisi, 173000 m çeşitli çap ve cins borularla oluşturulmuş su dağıtım (şebeke) hattı bulunmaktadır (İLBANK, 2011).

2.2. Yöntem (Method)

Bu araştırma, Kilis ilinin mevcut içme ve kullanma suyu kaynaklarının ergonomik kullanılması, su kayıplarının ve kaçak kullanımın doğru olarak tespiti, gelecekte yapılması muhtemel ilave projelerde su ihtiyacının daha gerçekçi olarak tahmin edilmesi amacıyla yapılmıştır. Araştırma Kilis 7 Aralık Üniversitesi Bilimsel Araştırma ve Projeler Birimi (BAP) tarafından desteklenmiş olup, 2016 yılında sonuçlandırılmıştır.

Yerleşim birimlerinde şebekeden yapılan içme ve kullanma suyu tüketimleri konutsal, kamu, ticari ve endüstriyel olarak sınıflandırılmaktadır (Akdağ, 2015). Ancak, konutsal su tüketiminin payı ortalama % 90'dır (İLBANK, 2013). Bu durum şebekeden yapılan konutsal su tüketiminin ayrıntılı olarak incelenmesini gerektirmektedir. Gerek mevcut su kaynaklarının ergonomik kullanılması gerekse gelecekteki su ihtiyaçlarının daha gerçekçi hesaplanabilmesi için su tüketim verileri sağlıklı olarak değerlendirilmelidir.

Mevcut içme ve kullanma suyu tüketiminin tespiti, nüfus dağılımı, şehre verilen su miktarı, aboneler tarafından şebeke içi ve şebeke dışı tüketilen su miktarı, su kayıpları ve kaçak kullanım oranları ile doğrudan ilgilidir. Planlama çalışmaları için mevcut su kullanımını l/k/g (litre/kişi/gün) olarak belirlemek gerekmektedir. Genel olarak yerleşim birimlerinde mevcut içme ve kullanma suyu tüketim miktarını l/k/g olarak tespit etmek amacıyla "Su İşleri Müdürlüğü Kayıtlarının İncelenmesi", "Şehir Şebekesinden Ölçüm Yapılması" ve "Su Abonelerine Anket Uygulanması" olmak üzere üç farklı yöntem kullanılmaktadır. Sadece bir yöntemle göre kişi başına günlük su tüketimi değerleri bulunabileceği gibi bu yöntemler birlikte uygulanarak ta bulunabilir. Birlikte uygulanması halinde yerleşim biriminin sosyo-ekonomik yapısına göre tek bir yöntemle göre bulunan değer kullanılabileceği gibi ortalama su tüketim değeri de esas alınabilir (ODTÜ, 1976).

Bu çalışmada "Su Abonelerine Anket Uygulanması" yöntemine göre Kilis ilinde kişi başına günlük konutsal içme ve kullanma suyu tüketimi miktarı tespit edilmiştir. Kilis Belediyesi Su İşleri Müdürlüğü kayıtlarından alınan bilgilere göre araştırma döneminde il'de toplam abone sayısının 17674 olduğu saptanmıştır. Anket uygulaması için Kilis'in sosyo-ekonomik yapısı göz önünde bulundurularak dört ayrı bölge belirlenmiştir. Bu bölgelerin temel özelliklerinden biri de suyu genel dağıtım sisteminden aldıkları halde, bölge şebekesinin bağımsız ölçüm yapılmasına uygun olmasıdır. Aşağıda hakkında kısa bilgiler verilen bu bölgelerde abonelerle yapılacak mülakat çalışmasında kullanılacak örnek boyutu istatistik yöntemlerle belirlenmiştir.

1. Bölge: Şehrin kuzeybatı sınırında yer alan, genelde orta düzeyde gelire sahip ve kamu çalışanlarının yoğunlukta olduğu yerleşimcilerden oluşan **Ekrem Sanlı Mahallesi'ni** kapsamaktadır.

2. Bölge: Şehir merkezinde yer alan, genelde ortanın üzerinde gelire sahip, üst düzey kamu yöneticileri ve orta ölçekli işadamlarının yoğunlukta olduğu yerleşimcilerden oluşan **Yaşar Aktürk Mahallesi'ni** kapsamaktadır.

3. Bölge: Şehir merkezinde yer alan, genelde ortanın altında gelire sahip özel iş yerlerinde ve kamuda hizmet sektöründe çalışan yerleşimcilerden oluşmakla birlikte, az sayıda da olsa orta düzey gelire sahip yerleşimcilerin de bulunduğu **Ekrem Çetin Mahallesi'ni** kapsamaktadır.

4. Bölge: Şehrin kuzeydoğu sınırında yer alan, genelde düşük gelire sahip, günlük yevmiye ile günü birlik iş bulduğunda çalışabilen yerleşimcilerden oluşan **Helvacıoğlu Mahallesi'ni** kapsamaktadır.

Anket çalışmasının belirlenen bölgelerdeki aboneleri temsil edebilmesi amacıyla, uygulanacak anket sayıları abone sayılarına göre belirlenmiş olup dört bölgede ayrı ayrı uygulanmıştır. Dört bölgenin tamamına uygulanan anketler bölgelerin sosyo-ekonomik yapısındaki dağılım dikkate alındığında Kilis geneli ile ilgili değerlendirmelerde bulunacak şekilde tespit edilmiştir.

Örneklem büyüklüğünü saptamak için farklı formüller geliştirilmiştir. Temel ilke evreni temsil niteliğine sahip bir örneklem seçilmesidir. Evreni temsil etmeyen bir örneklemde (büyüklüğü ne olursa olsun) elde edilecek sonuçlar güvenli değildir. Örneklemdeki birim sayısının artması durumunda ait olduğu evreni temsil niteliği de artacaktır. Lakin maliyet, zaman, personel vb kaynakların artmasına neden olmaktadır. Bu durumda araştırma için uygun

(optimal) örnek büyüklüğünü saptamak gereklidir. Araştırmacı tarafından belirlenen “örnekleme hatası” örneklem büyüklüğünü etkileyen önemli unsurlardan biridir. Örneklem büyüklüğü kabul edilen örnekleme hatası değeri küçüldükçe artacaktır. Yani, örneklem hatası %1 için öngörülen örneklemin büyüklüğü, örneklem hatası %3 için öngörülen örneklemden daha büyük olacaktır. Araştırmalarda kabul edilen anlamlılık düzeyi genellikle %1 ya da %5 olarak seçilir. Günümüzde internet ortamında bulunan web adresleri bu konuda yapabileceğimiz hesaplamalar ve farklı seçenekleri değerlendirme adına büyük kolaylık sağlamaktadır (Kılıç, 2012). Bu çalışmada kullanılacak örnek boyutunun saptanmasında esas değişken kişi başına günlük su tüketimi olarak tarif edildiğinde, bu değişkenin ihtimal dağılımı normal kabul edilmiştir. Bu yöntemle saptanmış “n” boyutunda bir örnek kullanılarak bulunan ortalama değer, %100 (1- α) güvenirliliği ile $(1-e)\bar{X} \leq h(\text{gerçek ortalama}) \leq (1+e)\bar{X}$ sınırları içerisinde olacaktır. Normal dağıldığı kabul edilen bir değişkenin ortalama değerini belirli bir hata oranı ve güvenirlilikle saptamak için kullanılması gereken örnek boyutu aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmıştır (ODTÜ, 1976).

$$n = \frac{Z_1^2 - \frac{\alpha}{2}}{e^2} \times a^2 \quad (1)$$

Eşitlikte;

$Z_1 - \frac{\alpha}{2}$: (1 - α) güvenirliliği için standart normal değişkeni (Tablo 1’de verilmiştir),

e: Yüzde olarak hatayı,

a: $\left(\frac{S_x}{\bar{X}}\right)$ değişkenlik katsayısını

S_x : Değişkenin standart sapmasını (örnekten)

\bar{X} : X değişkeninin ortalamasını, göstermektedir.

Tablo 1. $Z_1 - \frac{\alpha}{2}$ değerleri ($Z_1 - \frac{\alpha}{2}$ values)

Risk (1 - α)	0,02	0,05	0,10	0,20
$Z_1 - \frac{\alpha}{2}$	2,326	1,960	1,645	1,282

Örnek boyutunun verilen eşitlik ile saptanabilmesi için “a” değerinin yani değişkenin standart sapmasının ortalamasına oranının bilinmesi gereklidir. Burada bahsedilen “a” değerinin kesinlikle önceden bilinmesi imkânsızdır. Benzer çalışmalardan yararlanarak veya bir pilot çalışma yaparak ancak tahmin yapmak mümkündür (ODTÜ, 1976).

Çevredeki örnekleme birimi sayısı “N” ve örneğe çekilecek birim sayısı “n” ile gösterilirse “basit tesadüfi örnekleme (rastgele örnekleme), “N” birimden “n”lik kombinasyonların örneği oluşturma olasılıkları eşit olan örneklemedir” diye tanımlanır. Tesadüfi sayılar çizelgesi ile örneğe gerekli sayıda birim çekmek için yararlanılan birçok yöntem vardır. Ancak, birçok konuda olduğu gibi bu konuda da bilgisayar programları geliştirilmiştir. Örnek seçimi için gerekli tesadüfi sayıların saptanmasında bu programların kullanılması en uygun yöntem olarak belirlenmiştir (İscil, 1977). İstatistikî yöntemlerden birçoğu tesadüfi örneklere dayandığından, istatistikçiler uygulamalarında genellikle “tesadüfi sayılara” gereksinim duyarlar. Eski referanslarda örneklerin seçilmesinde ya da bir deney için düzenek oluşturulmasında yararlanılabilecek tesadüfi sayılar tabloları bulunurdu. Günümüzde bu tarz araştırmalarda bilgisayarda üretilen “tesadüfi sayılar” kullanılmaktadır (Gentle, 2003).

Seçilen örnek boyutunun sağlıklı ve Kilis şehri şartlarına uygun olması için “a” değerinin tespiti maksadıyla bir pilot çalışma yapılması uygun bulunmuştur. Pilot çalışma için belirlenen bölgelerin her birinde toplam abone sayısının %15’inin su tüketim miktarları tespit edilmiştir. Bu çalışma için su tüketim değerleri kullanılacak olan aboneler bilgisayar yardımıyla rastgele (Random) seçilmiştir.

Anketlerden elde edilen bulgular, SPSS programı ile analiz edilmiştir. İstatistiksel yöntemler (korelasyon, çoklu regresyon, çoklu doğrusal regresyon ve faktör analizi) kullanılarak değerlendirilmiştir (Ünver ve Gamgam, 1986). Bağımlı değişken ile bağımsız değişkenlerin (faktörlerin) istatistiksel ilişkisi için Ki-kare testi “ χ^2 ” uygulanmış, sonuçlar $p < 0,05$ anlamlılık düzeyinde değerlendirilmiştir (Ağaç vd., 2015).

3. Bulgular ve Tartışma (Findings and Discussion)

Bir yerleşim yerinde kişi başına günlük tüketilen su miktarı şartlara bağlı olarak genişçe sayılabilecek sınırlar arasında değişir. Günlük su tüketimini etkileyen başlıca faktörler arasında; nüfus, hayat standardı, iklim, suyun fiyatı, sosyo-ekonomik yapı, su ölçümü, işletme basıncı, su kalitesi vb faktörler; yer almaktadır (Öztürk ve Orhan 2000). Kilis ilinde kişi başına günlük içme ve kullanma suyu tüketimi ve bu tüketimi etkileyen faktörleri belirlemek amacıyla yapılan “**Abone Anket Uygulaması**” çalışmasından elde edilen bulgular bu bölümde değerlendirilmiştir.

3.1. Abone Anket Uygulanması (Subscriber Survey Application)

3.1.1. Anketlerin Hazırlanması (Preparation Of Surveys)

Anket (mülakat) yapılan abonelere tek tip standart sorular sorulmuştur. Bu amaca hizmet için bir anket formu düzenlenmiştir. Anket formunda Kilis şehrinin özellikleri ve bu çalışmanın gerektirdiği özel bilgiler de göz önünde bulundurulmuştur. Hazırlanan anket formu temel olarak üç ayrı kısımdan meydana gelmiştir. Birinci kısımda (Kısım A) anket uygulanan kişi hakkında genel sorular sorulmuştur. Bu soruların amacı su kullanan abonenin tahsilinin, işinin, yaşının ve aylık gelirinin saptanmasıdır. İkinci kısımda (Kısım B) abonenin bulunduğu bina hakkında genel sorular sorulmuştur. Bu soruların amacı binanın malzemesi, yaşı, tipi vb. gibi genel durumunun saptanmasıdır. Üçüncü kısımda ise (Kısım C) abonenin su tüketimi hakkında sorular sorulmuştur. Bu sorulardan amaç hanenin fiziksel tesisat durumunu, hanede oturanların sosyo-ekonomik durumlarını, su kullanımı ile ilgili çeşitli hususları, ekonomik duruma indeks olabilecek durumları (evdeki araç gereçler, ev kirası vs.) saptamaktır. Bu anket formundaki sorulara abonelelerin verdikleri cevapları değerlendirmedeki amaç su kullanımı ile diğer hususlar arasında bir ilişki olup olmadığının saptanmasıdır. Bir abonenin belirli sürede ne kadar su kullandığının tespiti için tek geçerli yol Kilis Belediyesi satış sarfiyat kayıtlarının incelenmesi olmuştur.

3.1.2. Örnek Boyutunun Seçimi (Selection Of Sample Size)

Örnek boyutu "basit tesadüf örnekleme" yöntemine göre seçilmiştir. Rastgele (tesadüf) seçim yapmak için bölgelerde mevcut olan abonelerin abone numaralarına tesadüf edecek sayılar bilgisayar yardımı ile saptanmıştır. Seçilen bu sayılar abone numaralarına dönüştürülmüş; birinci bölgede 25, ikinci bölgede 20, üçüncü bölgede 35, dördüncü bölgede 24 olmak üzere toplam 101 adet abone belirlenmiştir. Belirlenen bu abonelerin su tüketim miktarları aylık dönemler halinde Belediye Su İşleri Müdürlüğü kayıtlarından çıkartılmıştır. Yapılan anket çalışmasında esas değişkenimiz su tüketimi olduğundan rastgele seçilen su abonelerinin kayıtlardan çıkartılan su tüketim miktarlarının "a" değişkenlik katsayıları birinci bölgede 0,41, ikinci bölgede 0,83, üçüncü bölgede 0,45, dördüncü bölgede 0,70 bulunmuştur. Bu durumda gerçek ortalama değer %90 güvenilirlik ve %10 duyarlılıkta saptanabilmesi için gerekli olan örnek boyutları verilen formül ile hesaplanmış olup; birinci bölgede 45, İkinci bölgede 34, üçüncü bölgede 54, dördüncü bölgede 29 olmak üzere toplam 162 bulunmuştur. Hesaba göre 162 adet anket yeterli gözükmemekte ise de verilen cevapların geçerliliği açısından bir miktar fire verileceği ve kullanılabilir cevaplandırılmış anket sayısının 162'den düşük olmamasının temini açısından uygulanacak anket sayısı 228 olarak saptanmıştır.

3.1.3. Anketlerin Uygulanması (Implementation Of Surveys)

Anketlerin hangi abonelere uygulanacağı yine rastgele (tesadüf) saptanmıştır. Rastgele seçim yapmak için bilgisayar yardımıyla tesadüf sayı çizelgesinden seçilen; birinci bölgeden 63, ikinci bölgeden 47, üçüncü bölgeden 75, dördüncü bölgeden 43 sayı, abone numaralarına dönüştürülmüş ve 228 abone seçilmiştir. Seçimi yapılan her abone için Kilis Belediyesi Su İşleri Müdürlüğünde mevcut kayıtlar incelenerek her anket formunun ilgili soruları ofiste cevaplandırılmış olup, abonenin tanımı, sayaç numarası ve sarfiyat verileri saptanmıştır. Sarfiyat verileri eksik olan veya mülakat yapıldığı halde değerlendirme yapılmasını imkânsız kılacak bilgi eksikliği ya da yanlışlığı tespit edilen aboneler hakkında bir işlem yapılmamış ve bu aboneler anket çalışması dışında bırakılmıştır.

Derlenen anket formları bir ilk elemeye tabi tutularak Kilis Belediyesi Su İşleri Müdürlüğü satış kayıtları tam olmayan veya sayacı bozuk olan abonelere ait anket formları değerlendirmeye alınmayınca rastgele seçilen 228 abone sayısı Birinci Bölgede 50, ikinci bölgede 34, üçüncü bölgede 67, dördüncü bölgede 27 olmak üzere 178'e düşmüştür. Bu sayı örnekleme yöntemiyle saptanan 162'den büyük olduğundan geçerli örnek boyutu olarak kullanılmıştır.

Bölgelerde uygulanan anketlerden elde edilen sonuçlara göre değişkenlik katsayıları ilk hesaplarda kullanılan varsayım değerlerinden daha küçük bulunmuştur. Bu durumda toplamda seçilen 178 boyutunda bir örnek kullanıldığına göre, uygulanan anket çalışmasında %80 güvenilirlik (veya %20 risk) ile ortalama değer tespitindeki duyarlılığın %10 mertebesinde olacağı teorik olarak söylenebilir.

3.1.4. Anketlerin Değerlendirilmesi (Evaluation Of Surveys)

Anketlerin değerlendirilmesi, araştırılan veya incelenen nesnelere ve olayların niteliklerinin, belli ilkeler çerçevesinde rakam, sembol, şekil ve kavramlara dönüştürülerek yapılmaktadır. Bu şekilde varlıkların nitel ve nicel özelliklere sahip olma dereceleri ölçülebilir. Ölçüm gerçeği yansıtmalıdır. Nesnelere kendilerini değil, niteliklerini ölçeriz. Sınıflama, gruplama, kategorilere ayırma, sıralama veya adlandırma da ölçme demektir. Numaralama veya sembollere dönüştürme, önceden belirlenmiş ilkelere göre yapılır. Bu nedenle ölçme işinin bir

tanımı yapılmalı, bir başlangıcı olmalı, sıralama, mesafe vb gibi esaslardan hareket etmelidir. Ölçme aracı ile ölçülen nitelik arasında doğrudan bağlantı varsa ve niteliği aynen yansıtıyorsa doğrudan, ölçülecek nitelik ile ölçme aracı arasında doğrudan ilişki veya bire bir uyum yoksa bu dolaylı ölçmedir. Bu ölçümlerden; bir kısmı fen bilimlerinde olduğu gibi (metre, litre, cetvel vb) araçlar kullanılarak, bir kısmı gözlem yoluyla, bazen başkalarının görüşüne başvurarak, bazen de gruplara ayırma, sıralama veya mukayese yaparak gerçekleştirilir (Arıkan, 2018). Yapılan ankette sorulan soruların bazılarında sayısal cevaplar elde etmek mümkün ise de bazı sorular ancak nitelikle cevaplanabilir. Sayısal cevap alınamayan bazı sorular için özellikle istatistik değerlendirmelerde yararlı olacağı kanısıyla rölatif bir puanlamaya gidilmiştir. Çeşitli değişkenlere uygulanan puanlamalardan bir kaç örnek aşağıda verilmiştir:

Eğitim Durumu:

Okur-yazar değil	1
İlköğretim	2
Lise	3
Ön lisans	4
Lisans	5
Mesleği:	
İşçi	1
Memur	2
Serbest Meslek	3
Esnaf	4
Diğer	5

Bina Türü:

Ahşap	1
Kâgir	2
Betonarme	3
Yığma	4

Binanın Tipi:

Apartman
Müstakil Ev
Gecekondu

Anket formunda sorulan her soruyu istatistik analizler için bir değişken olarak kabul etmenin uygun olmayacağı kararına varılarak yapılan bir ön çalışmayla değişken sayısında ve analize esas olacak değişkenlerin neler olacağı hakkında bazı kararlar alınmıştır. Anketlerden elde edilen bilgiler yanında, şehircilik çalışması ve benzeri çalışmaların ışığında 178 abone için aşağıdaki hususlar sayısal olarak saptanmıştır:

- | | |
|--|--|
| 1. Su tüketim verileri (l/k/g) | 26. Suyun tadını beğeniyor musunuz? |
| 2. Abonenin eğitim durumu | 27. Su kesintisi oluyor mu? |
| 3. Abonenin meslek grubu | 28. Su kesintisine karşı su stoku yapıyor musunuz? |
| 4. Abonenin yaş grubu | 29. Ne kadar su stoku yapıyorsunuz? |
| 5. Abonenin cinsiyeti | 30. Başka kaynaktan su kullanıyor musunuz? |
| 6. Ailedeki birey sayısı | 31. Başka hangi kaynaklardan su kullanıyorsunuz? |
| 7. Abonenin gelir grubu | 32. Evdeki alafrağa tuvalet sayısı |
| 8. Abonenin medeni hal | 33. Evdeki alaturka tuvalet sayısı |
| 9. Binanın cinsi | 34. Evdeki lavabo sayısı |
| 10. Binanın diğer binalar ile benzerliği | 35. Evdeki duş sayısı |
| 11. Binanın tipi | 36. Evinizde jakuzi var mı? |
| 12. Binadaki kat sayısı | 37. Evinizde güneş enerjisi var mı? |
| 13. Binanın yaşı | 38. Evinizde termosifon var mı? |
| 14. Binadaki yıllık yakıt tüketimi | 39. Evdeki elektronik eşyalar neler? |
| 15. Binada yalıtım var mı? | 40. En çok suyu ne için tüketiyorsunuz? |
| 16. Binada kuyu var mı? | 41. Konut dışı nerelerde su kullanıyorsunuz? |
| 17. Bina tek su sayacına mı bağlı? | 42. Su kullanım şekliniz nedir? |
| 18. Binada su deposu var mı? | 43. Aylık tükettiğiniz su miktarından memnun musunuz? |
| 19. Binanın bahçesi var mı? | 44. Aylık su tüketiminizi azaltmayı düşünüyor musunuz? |
| 20. Binanın bahçesi sulanıyor mu? | 45. Su tasarrufu için çalışmalar sizce yeterli mi? |
| 21. Ev kaç metrekare? | 46. Kullanılan su için sizce sorunlar neler? |
| 22. Kaç yıldır burada oturuyorsunuz? | 47. Su temini konusundaki çalışmalar sizce yeterlimi? |
| 23. Son iki aydaki su tüketimi ne kadar? | 48. Su hakkında hangi yollarla bilgi alıyorsunuz? |
| 24. Su fiyatlarını nasıl buluyorsunuz? | 49. Su faturanızı düzenli olarak ödüyor musunuz? |
| 25. Musluk suyunu içme suyu olarak kullanıyor musunuz? | |

Çalışmanın amacı esas alındığında anketlerin analizlerinden elde edilen sonuçlar; İl geneline ve bölgelere göre; genel, kişi başına su tüketim değerleri ve su tüketimini etkileyen faktörler olarak değerlendirilmiştir.

3.1.4.1. Genel Değerlendirme (General Evaluation)

Anketlerden elde edilen ve önemli görülen bazı sonuçlar İl geneli ve bölgelere göre karşılaştırılmalı olarak Şekil 1'de verilmiştir. Buna göre İl genelinde abonelerin; %6,7'sinin okur-yazar olmadığı, %19,1'inin ilköğretim, %20,2'sinin ortaöğretim, %53,9'unun üniversite mezunu (Şekil 1.1); %10,1'inin işçi, %21,3'ünün memur,

%3,4'ünün serbest meslek, %55,6'sının diğer meslek (ev hanımı, emekli, öğrenci, çiftçi, işsiz, vs.) gruplarından (Şekil 1.2); %37,6'sının 18-25 yaşlarında, %18,5'inin 26-35 yaşlarında, %25,8'inin 36-45 yaşlarında, %11,3'ünün 46-60 yaşlarında, %6,8'inin 60 yaş üzerinde (Şekil 1.3); %60,7'inin erkek, %39,3'ünün kadın (Şekil 1.4); %58,4'ünün evli, %41,6'sının bekâr (Şekil 1.5); %16,9'unun 700 TL'den az, %28,1'inin 700-1000 TL arasında; %17,4'ünün 1001-1500 TL arasında, %25,8'inin 1501-2500 TL arasında, %11,8'inin 2500 TL üzerinde aylık gelirinin (Şekil 1.6); Anket yapılan konutların; %2,2'sinde 2 den az, %38,8'inde 2-4, %55,6'sında 5-7, %3,4'ünde 7 den fazla kişinin yaşadığı (Şekil 1.7); %0,6'sının ahşap, %0,6'sının kâgir, %96,5'sinin betonarme, %0,6'sının yığma, %1,7'sinin diğer yapı gereçlerinden inşa edildiği (Şekil 1.8); %24,2'sinin müstakil konut, %75,8'zinin apartman olduğu (Şekil 1.9); %12,4'ünün tek, %30,3'ünün 2-4; %36'sının 5-7, %21,3'ünün 7 den fazla katlı (Şekil 1.10); olduğu saptanmıştır.

Kilis'te nüfusun %73,2'si kentsel, %26,8'i kırsal yerleşim alanlarında yaşamaktadır. Toplam nüfusunun, %49,6'sı 25 yaşın altında, %42,7'si 25-65 yaş arası, %7,7'si 65 yaş üstü, yaklaşık olarak %58'ini 30 yaşın altındaki (0-29 yaş grubu) gençler oluşturmaktadır. Net %0,15 hız ile göç almakta olan İl'in ortalama Hane Halkı Büyüklüğü 4,09 kişidir. Nüfusun %50,2 erkek, %49,8 kadındır. Cinsiyet açısından kadın erkek nüfusu hemen hemen eşit bir durumda olan İl'de, kadınların istihdam edilmesinde bu eşitlik görülmemektedir; bu da sosyal kalkınmanın başarılı bir şekilde sürdürülemeyeceğini göstermektedir. Türkiye'de 2013 yılında 15 yaş üstü nüfus için okuma yazma bilmeyenlerin oranı % 4,7, okuma yazma bilenlerin ise % 95,3'tür. Kilis'te ise bu oranlar sırasıyla %6,7 ve %93,3'tür. Kilis'te üniversite mezunlarının yine aynı yaş grubu nüfusa oranı ise %8,6'dır. Kilis'te 15 ve daha yukarı yaştaki nüfusun işgücüne katılma oranı %45,3 iken işsizlik oranı %7,3'tür. İstihdam edilenlerin %23,9'u tarım, %31,9'u sanayide istihdam edilmektedir. Hizmetler sektöründeki istihdam ise %44,2'dir (İKA, 2014).

Bu durum gelecekte Kilis ili merkez ilçede eğitim, meslek, aylık gelir dağılımı, konut nüfus yoğunluğu, yapı kalitesi, dikey yapılaşma vb durumlarda pozitif gelişmeler olacağını göstermektedir.

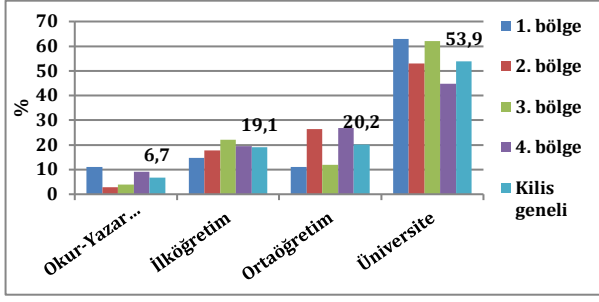
3.1.4.2. Su Tüketimi Değerlendirmesi (Water Consumption Assessment)

Anketlerden elde edilen kişi başına günlük konutsal su tüketimi değerlerinin istatistiksel sonuçları İl geneli ve bölgelere göre Tablo 2'de verilmiştir. Tablo 2'de kişi başına günlük su tüketimi değerlerinin 1. bölgede 109,31 l/k/g, 2. bölgede 55,1 l/k/g, 3. bölgede 60,6 l/k/g, 4. bölgede 71,3 l/k/g ve Kilis genelinde ise 79,12 l/k/g olduğu görülmektedir. Bu değerler göz önüne alındığında Kilis genelinde abonelerin %55,05'inin 79,12 l/k/g'den daha az su kullandıkları anlaşılmaktadır.

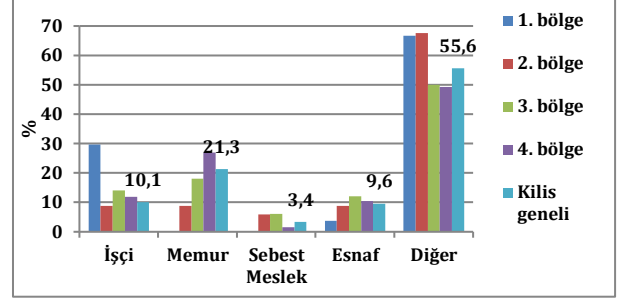
Birleşmiş Milletler Ekonomik, Sosyal ve Kültürel Haklar Komitesi'ne göre; insanlar "kişisel ve ev içi kullanımlar için yeterli, güvenli, kabul edilebilir, fiziksel olarak erişilebilir ve karşılanabilir su" hakkına sahiptir. İçme, yemek hazırlama, genel hijyen, banyo ve sanitasyon için minimum miktarda su; sürdürülebilir, sağlıklı kentsel yaşamın en temel şartlarından (CESCR, 2003). Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından kişi başına günlük asgari su ihtiyacı 20 ila 50 l/k/g arasında ön görülmüştür (WHO 2003). Eysel su kullanım türleri "isteğe bağlı olan" ve "isteğe bağlı olmayan" şeklinde sınıflandırmış olup, bu kapsamda isteğe bağlı olmayan su kullanımı 40-70 l/k/g dür. Bu değerler üzerindeki su kullanımı, ne için kullanıldığına bakılmaksızın, "isteğe bağlı" olarak kabul edilir (Willis vd., 2011).

Sağlıklı kentsel yaşam için konutlarda; DSÖ tarafından ortalama 50-100 l/k/g, DSÖ ve Birleşmiş Milletler Çocuklara Yardım Fonu (WHO/UNICEF) Ortak İzleme Programı raporlarında ise günlük ihtiyaçları karşılamak, kişisel hijyen, yıkama, temizlik, bulaşıcı hastalıklardan korunabilme vb durumlar için asgari 20 l/k/g su tüketilmelidir (Tamason vd., 2016). Ölçüm verileri, anket uygulamaları ve diğer yöntemler kullanılarak yapılan birçok araştırmadan evsel su kullanımı için, 93 l/k/g (Athuraliya vd., 2012) ile 430 l/k/g (Hay vd., 2012) arasında değişen değerler elde edilmiştir.

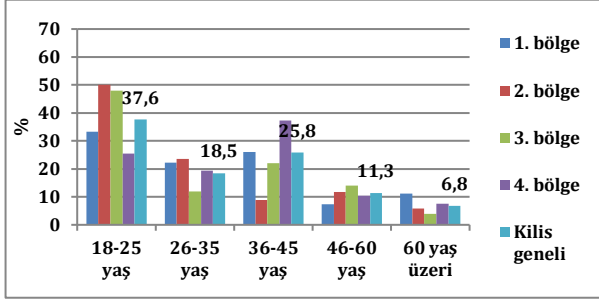
Dünyada kişi başına günlük toplam su tüketimi ortalama net 350 l/k/g, brüt 900 l/k/g, Türkiye'de kişi başına evsel su tüketimi ortalama 80-140 l/k/g dür (İLBANK, 2013). Türkiye'de belediyeler tarafından evlere ulaştırılan su miktarı 2006'da 2,4 milyar m³ civarından 2014'de 3,4 milyar m³'ün üzerine çıkarak ciddi bir artış göstermiştir ki şehirlerdeki nüfus artışının bunun en büyük nedeni olduğunu söyleyebiliriz (TÜİK, 2015).



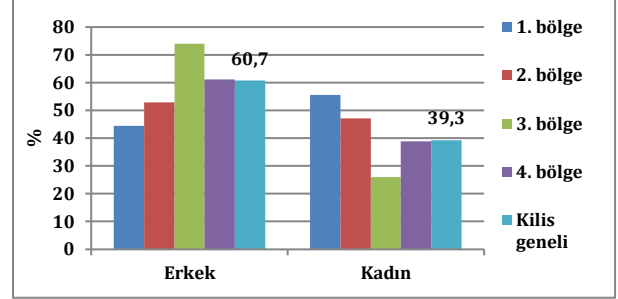
Şekil 1.1. Eğitim durumu (Educational status)



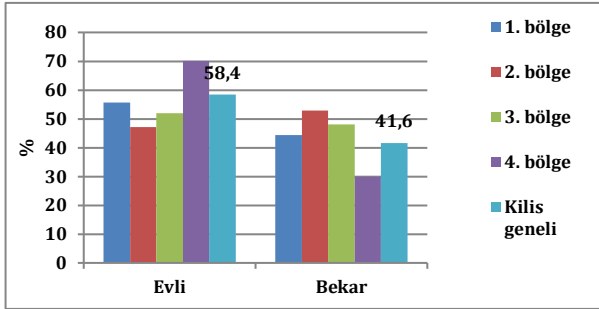
Şekil 1.2. Mesleki dağılımı (Occupational distribution)



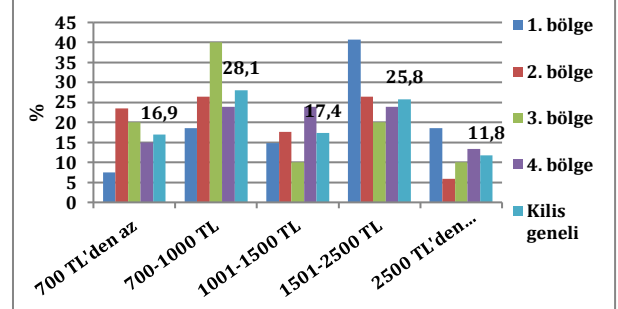
Şekil 1.3. Yaş grubu dağılımı (Age group distribution)



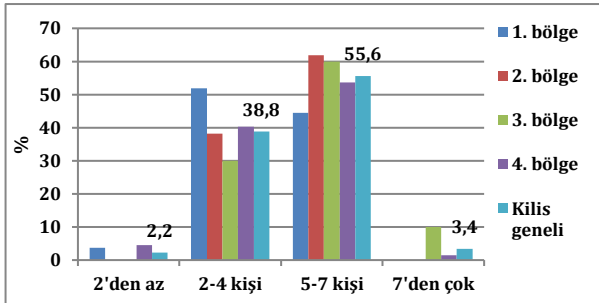
Şekil 1.4. Cinsiyet dağılımı (Gender distribution)



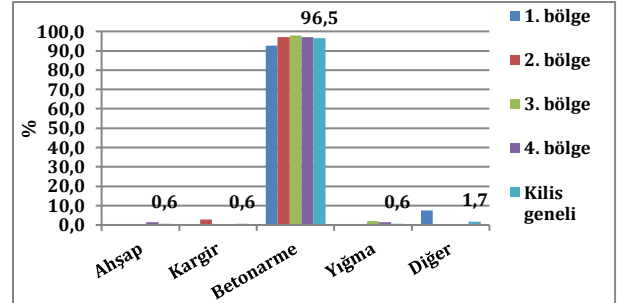
Şekil 1.5. Medeni durumu (Married/Single status)



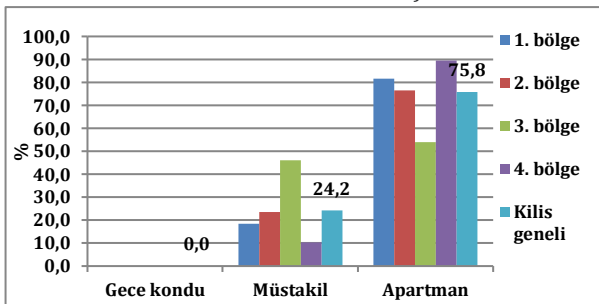
Şekil 1.6. Aylık gelir dağılımı (Monthly income distribution)



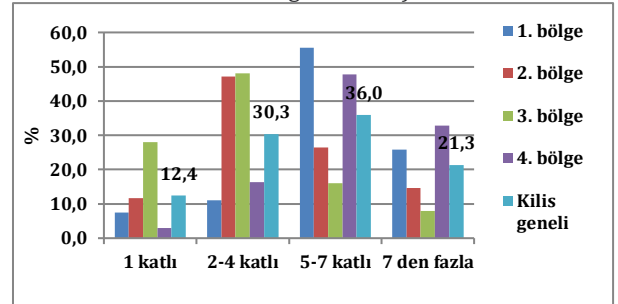
Şekil 1.7. Birey sayısına göre dağılımı (Distribution by number of individuals)



Şekil 1.8. Yapı gereçlerine göre dağılımı (Distribution by building materials)



Şekil 1.9. Yapı tiplerine göre dağılımı (Distribution by building types)



Şekil 1.10. Yapı katına göre dağılımı (Distribution according to building floor)

Şekil 1. Evsel su tüketimi saptanması çerçevesinde yapılan anketlerden elde edilen genel sonuç grafikleri (General result graphics obtained from surveys conducted within the framework of determining domestic water consumption)

Tablo 2. Ortalama değerler ve standart sapmalar (Mean values and standard deviations)

DEĞİŞKENİN		Kilis Genel		1. Bölge		2. Bölge		3. Bölge		4. Bölge	
No:	Adı	Ort. Değer	Standart Sapma	Ort. Değer	Standart Sapma	Ort. Değer	Standart Sapma	Ort. Değer	Standart Sapma	Ort. Değer	Standart Sapma
1	Su tüketim verileri (litre/kişi/gün)	79.12	44.78	109.3	64.12	55.1	31.2	60.6	31.12	71.3	28.32
2	Eğitim durumu	3.60	1.35	3.7	1.46	3.77	1.30	3.82	1.36	3.31	1.28
3	Meslek grubu	3.79	1.52	4.07	1.38	4.18	1.38	3.66	1.57	3.58	1.58
4	Yaş grubu	2.31	1.27	2.41	1.33	2.00	1.28	2.14	1.27	2.55	1.19
5	Cinsiyet	1.39	0.49	1.56	0.51	1.47	0.50	1.26	0.44	1.38	0.49
6	Ailedeki birey sayısı	2.60	0.60	2.41	0.57	2.61	0.49	2.80	0.60	2.52	0.61
7	Abonenin gelir grubu	2.88	1.30	3.44	1.22	2.64	1.27	2.60	1.29	2.97	1.27
8	Medeni hal	1.42	0.49	1.44	0.51	1.52	0.50	1.48	0.50	1.29	0.46
9	Binanın cinsi	3.02	0.32	3.15	0.53	2.97	0.17	3.04	0.28	2.98	0.27
10	Binanın diğer binalar ile benzerliği	1.21	0.56	1.26	0.66	1.20	0.53	1.20	0.53	1.19	0.55
11	Binanın tipi	1.24	0.43	1.19	0.40	1.23	0.43	1.46	0.50	1.10	0.30
12	Binadaki kat sayısı	2.66	0.95	3.00	0.83	2.44	0.89	2.04	0.87	3.10	0.78
13	Binanın yaşı	2.94	0.93	2.56	0.89	3.11	0.76	3.48	0.83	2.59	0.88
14	Binadaki yıllık yakıt tüketimi	2.38	0.66	2.37	0.63	2.47	0.78	2.48	0.67	2.26	0.59
15	Binada yalıtım var mı?	1.83	1.11	1.86	1.20	1.88	1.20	1.60	0.98	2.20	2.76
16	Binada kuyu var mı?	1.25	0.43	1.18	0.40	1.26	0.44	1.34	0.47	1.19	0.39
17	Bina tek su sayacına mı bağlı?	2.00	0.00	2.00	0.00	2.00	0.00	2.00	0.00	2.00	0.00
18	Binada su deposu var mı?	1.11	0.31	1.11	0.32	1.11	0.32	1.16	0.37	1.05	0.23
19	Binanın bahçesi var mı?	1.32	0.47	1.18	0.40	1.35	0.48	1.44	0.50	1.26	0.44
20	Binanın bahçesi sulanıyor mu?	0.89	0.72	1.00	0.62	0.94	0.81	0.86	0.86	0.84	0.59
21	Ev kaç metrekafe?	2.75	0.76	2.59	0.69	2.91	0.79	3.04	0.83	2.52	0.61
22	Kaç yıldır burada oturuyorsunuz?	2.63	1.00	2.29	0.82	2.41	1.18	3.12	1.02	2.52	0.82
23	Son iki aydaki su tüketimi ne kadar?	2.45	0.71	2.18	0.62	2.38	0.69	2.56	0.78	2.50	0.68
24	Su fiyatlarını nasıl buluyorsunuz?	2.44	0.64	2.37	0.49	2.23	0.69	2.48	0.70	2.53	0.58
25	Musluk suyunu içme suyu olarak kullanıyor musunuz?	1.96	0.59	1.89	0.51	1.91	0.66	1.92	0.66	2.02	0.52
26	Suyun tadını beğeniyor musunuz?	1.85	0.62	2.04	0.44	1.97	0.62	1.98	0.66	1.61	0.67
27	Su kesintisi oluyor mu?	1.73	0.87	1.81	0.83	1.85	0.89	1.42	0.73	1.86	0.91
28	Su kesintisine karşı su stoku yapıyor musunuz?	1.48	0.71	1.33	0.55	1.64	0.81	1.58	0.78	1.38	0.62
29	Ne kadar su stoku yapıyorsunuz?	1.79	1.51	1.59	1.50	1.97	1.57	2.44	1.67	1.30	1.14
30	Başka kaynaktan su kullanıyor musunuz?	1.21	0.49	1.22	0.51	1.32	0.59	1.28	0.53	1.10	0.35
31	Başka hangi kaynaklardan su kullanıyorsunuz?	3.39	2.81	3.33	1.80	4.09	4.11	3.00	3.37	3.36	1.61
32	Evdeki alafrağa tuvalet sayısı	0.67	0.48	0.89	0.32	0.68	0.53	0.46	0.50	0.73	0.45
33	Evdeki alaturka tuvalet sayısı	0.93	0.32	0.86	0.36	0.88	0.33	0.92	0.44	1.73	5.98
34	Evdeki lavabo sayısı	1.51	0.63	1.63	0.63	1.50	0.66	1.20	0.57	1.70	0.57
35	Evdeki duş sayısı	0.96	0.35	0.81	0.40	1.00	0.35	0.92	0.27	1.05	0.37
36	Evinizde jakuzi var mı?	0.02	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.14	0.03	0.17
37	Evinizde güneş enerjisi var mı?	0.57	0.53	0.26	0.45	0.71	0.46	0.74	0.49	0.51	0.57
38	Evinizde termosifon var mı?	0.12	0.33	0.11	0.32	0.26	0.45	0.10	0.30	0.06	0.24
39	Evdeki elektronik eşyalar neler	2.14	0.92	2.30	0.87	2.15	1.00	1.94	0.93	2.47	0.72
40	En çok suyu ne için tüketiyorsunuz?	6.53	5.43	6.93	4.63	6.61	5.64	5.88	5.53	6.80	5.61
41	Konut dışı nerelerde su kullanıyorsunuz?	6.36	5.73	4.56	4.89	7.67	7.57	9.10	9.99	6.61	7.24
42	Su kullanım şekliniz?	2.01	0.41	1.89	0.32	2.02	0.52	2.00	0.34	2.05	0.42
43	Aylık tükettiğiniz su miktarından memnun musunuz?	1.47	0.70	1.22	0.51	1.44	0.74	1.54	0.70	1.52	0.72
44	Aylık su tüketiminizi azaltmayı düşünüyor musunuz?	1.86	0.61	2.00	0.48	1.85	0.74	1.74	0.59	1.89	0.58
45	Su tasarrufu için çalışmalar sizce yeterli mi?	2.04	0.40	2.00	0.28	2.02	0.45	2.08	0.39	2.04	0.40
46	Kullanılan su için sizce sorunlar neler?	4.03	3.37	2.18	0.96	1.88	0.94	3.78	3.25	6.05	3.71
47	Su temini konusundaki çalışmalar sizce yeterli mi?	2.10	0.43	2.18	0.40	2.08	0.45	2.12	0.52	2.05	0.34
48	Su hakkında hangi yollarla bilgi alıyorsunuz?	4.33	4.35	4.44	4.26	4.29	4.51	4.54	4.60	4.14	4.18
49	Su faturanızı düzenli olarak ödüyor musunuz?	1.18	0.49	1.19	0.48	1.20	0.47	1.16	0.46	1.17	0.52

Günlük su tüketimi Afrika kıtasında kişi başına 10-20 l/k/g arasında değişirken Avrupalıların kişi başına günlük su tüketim miktarı 200 l/k/g, Kuzey Amerika ve Japonya'da ise tam 350 l/k/g dür (Dünya Büteni, 2006). Hindistan'ın Delhi kentinde su tedarik aralığı; Güney Delhi'nin Mehrauli bölgesinde 29 l/k/g, Yeni Delhi ve Orta Delhi bölgelerinin ayrıcalıklı yerleşim yerlerinde ise sırasıyla 462 l/k/g ve 509 l/k/g dür. Bu değerler üzerinde yerel iklim, binaların yapısı ve dış mekân su kullanım tercihleri etkilidir (Chakravarty, 2015).

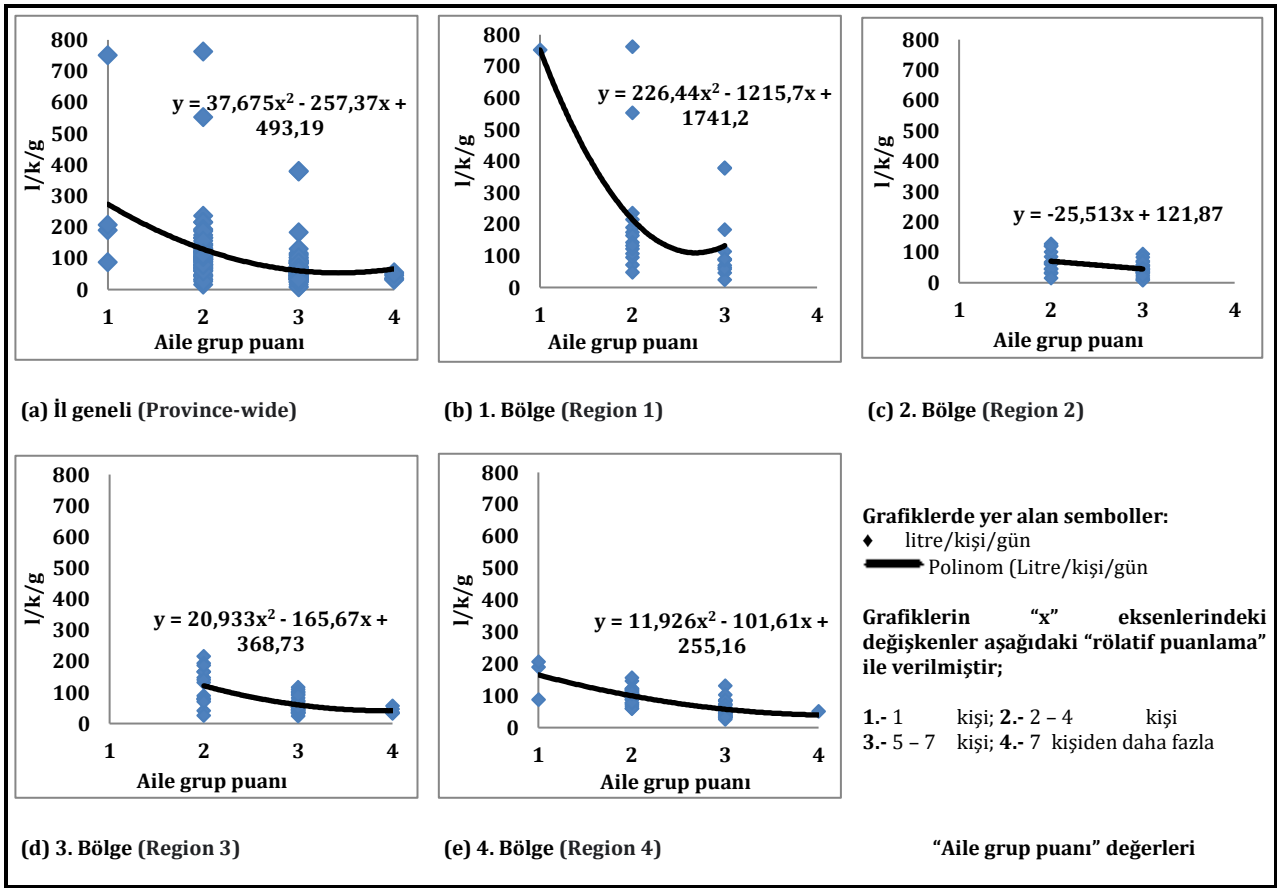
Kentlerde kişi başına su tüketimi sosyo-ekonomik şartlar, su kaynaklarının yeterliliği, alt yapı, vb nedenlerden dolayı büyük farklılıklar göstermektedir. Su tüketimi Nairobi'de ortalama 120 l/k/g, Addis Ababa'da ortalama 20 l/k/g, Lagos'ta ortalama 80 l/k/g, Paris'te ortalama 220 l/k/g, Moskova'da ortalama 580 l/k/g, Havana'da ortalama 100 l/k/g, Toronto'da ortalama 520 l/k/g, Cakarta'da ortalama 200 l/k/g, New York'ta 480 l/k/g, Atlanta'da 380 l/k/g dür (Karamouz, vd., 2003).

Bu değerler dikkate alındığında Kilis'te ortalama günlük konutsal su tüketiminin (79,12 l/k/g) ön görülen miktarlarda olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca İl'in sosyo-ekonomik yapısına göre oluşturulan bölgelerdeki su tüketim değerleri de sağlıklı ve sürdürülebilir bir kentsel yaşam için gerekli olan asgari (20 l/k/g) miktarın üzerindedir. Kilis'te ortaya çıkan bu su tüketim miktarları aynı zamanda İl'in gelişmişlik düzeyinin orta seviyelerde olduğunu göstermektedir. Önümüzdeki süreçte Kilis'in sosyo-ekonomik yapısında beklenen iyileşmelerin

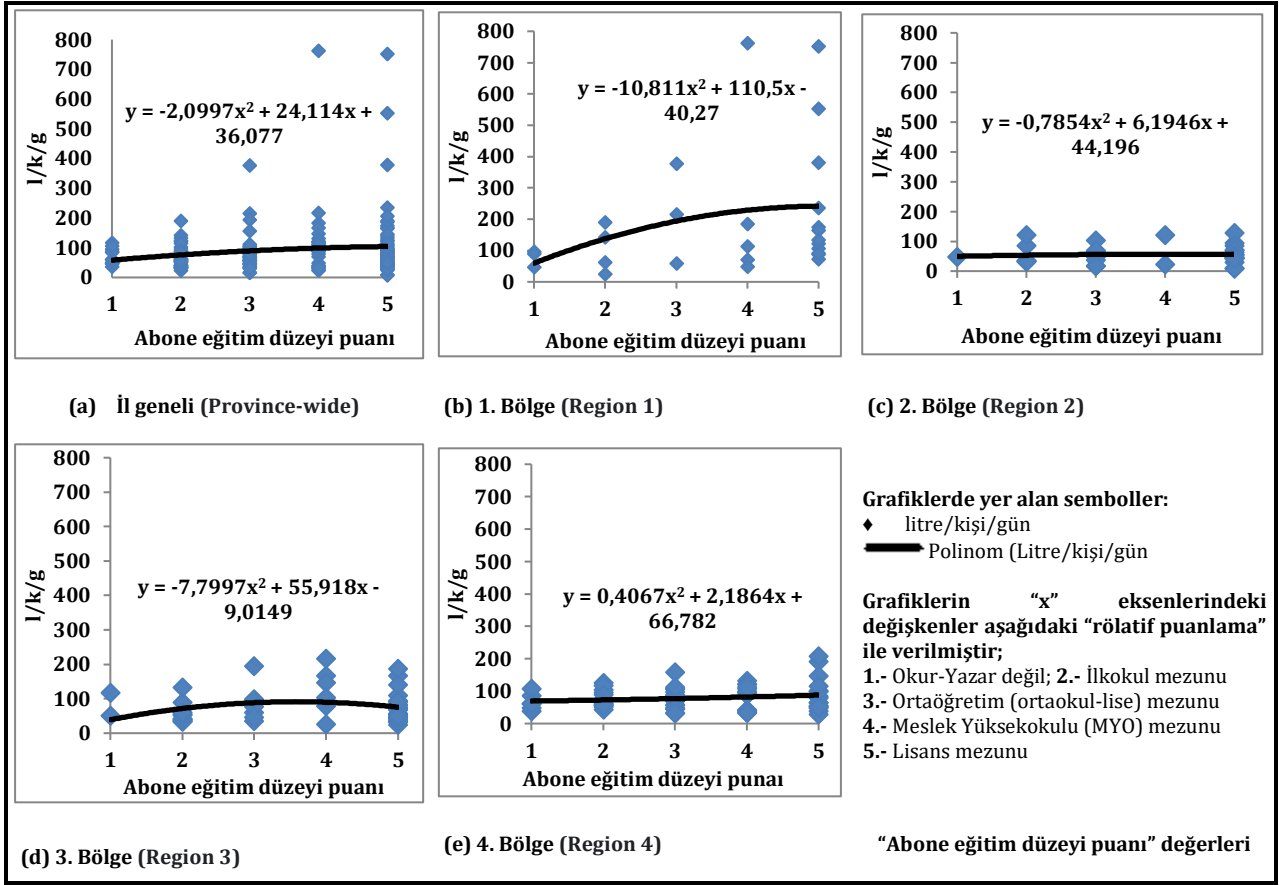
gerçekleşmesi durumunda İl’de konutsal su tüketimi de artacaktır. İl’in gelecekteki su ihtiyacı, günümüzde oldukça önem arz eden “su verimliliği” çalışmaları da göz önüne alınarak bu çerçevede belirlenmelidir.

Anketlerden elde edilen verilerden yararlanılarak, Kilis merkez ilçede “kişi başına günlük konutsal su tüketimi” ve “su tüketimini etkileyen faktörler” arasındaki ilişki düzeyi grafikler ve eğilim denklemleriyle saptanmıştır. Excel programıyla elde edilen grafikler ve denklemler Şekil 2’de verilmiş olup, su tüketimini etkileyen en önemli faktörün “konut nüfus yoğunluğu” olduğu saptanmıştır. Bu durum Şekil 2’de; İl genelinde $y = 37,675x^2 - 257,37x + 493,19$ (Şekil 2.1 a); 1.nci bölgede $y = 226,44x^2 - 1215,7x + 1741,2$ (Şekil 2.1 b); 2.nci bölgede $y = -25,513x + 121,87$ (Şekil 2.1 c); 3.ncü bölgede $y = 320,933x^2 - 165,67x + 368,73$ (Şekil 2.1 d); 4.ncü bölgede $y = 11,926x^2 - 101,61x + 255,16$ (Şekil 2.1 e); denklemleriyle ifade edilmektedir. Şekil 2.1’de verilen grafikler ve denklemler incelendiğinde “konut nüfus yoğunluğu” artışının konutlarda kişi başına günlük su tüketimini azalttığı görülmektedir.

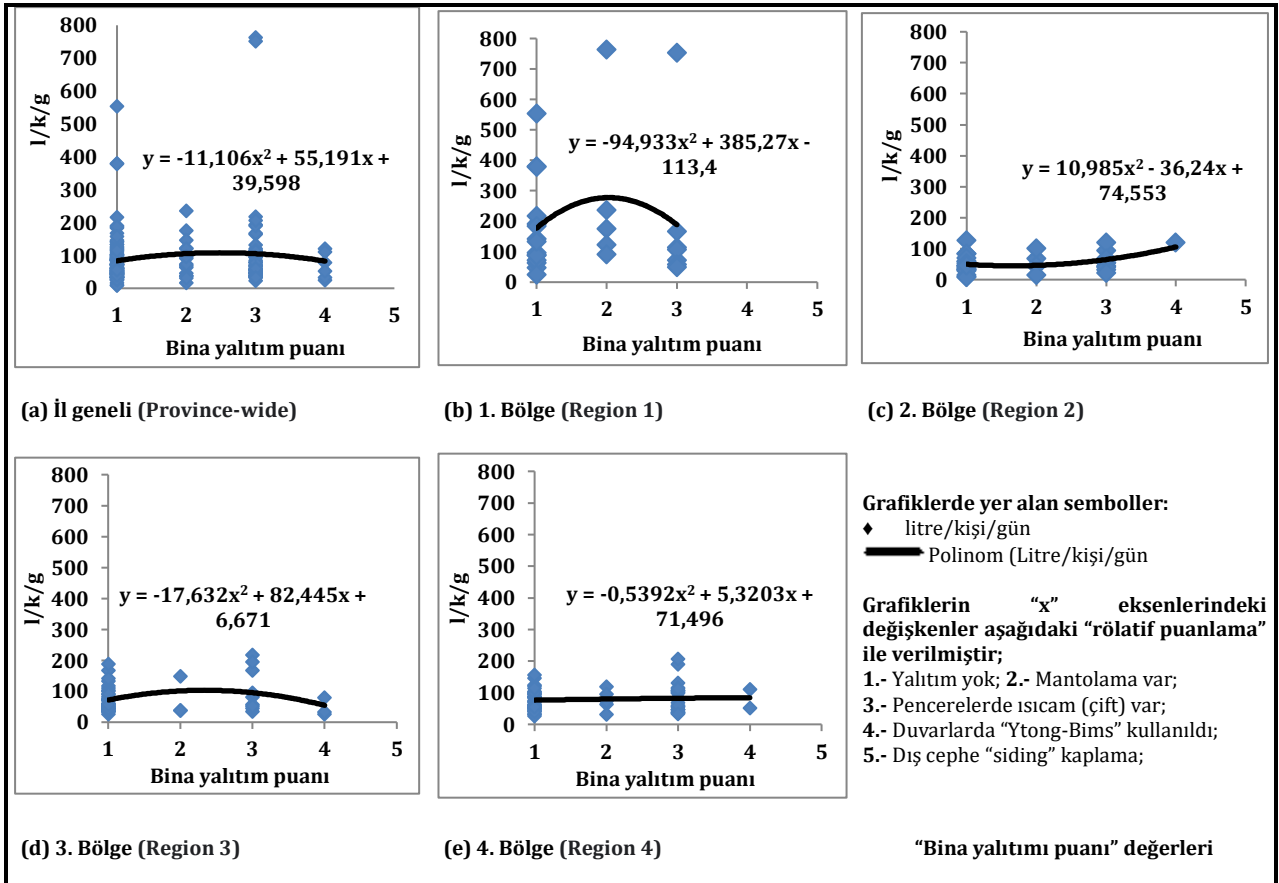
Türkiye’de; nüfusun “azalan nüfus artış hızı” eğilimine sahip olması, yeni nesillerde “çekirdek aile” modelinin benimsenmiş olması vb. gibi durumlar dikkate alındığında; konut nüfus yoğunluğunda göreceli bir azalma gözlenmektedir (Orhon, 2007). Bu bağlamda Kilis’te de konut nüfus yoğunluğunun düşmesi, ancak kişi başına günlük konutsal su tüketiminin ise artması beklenmektedir.



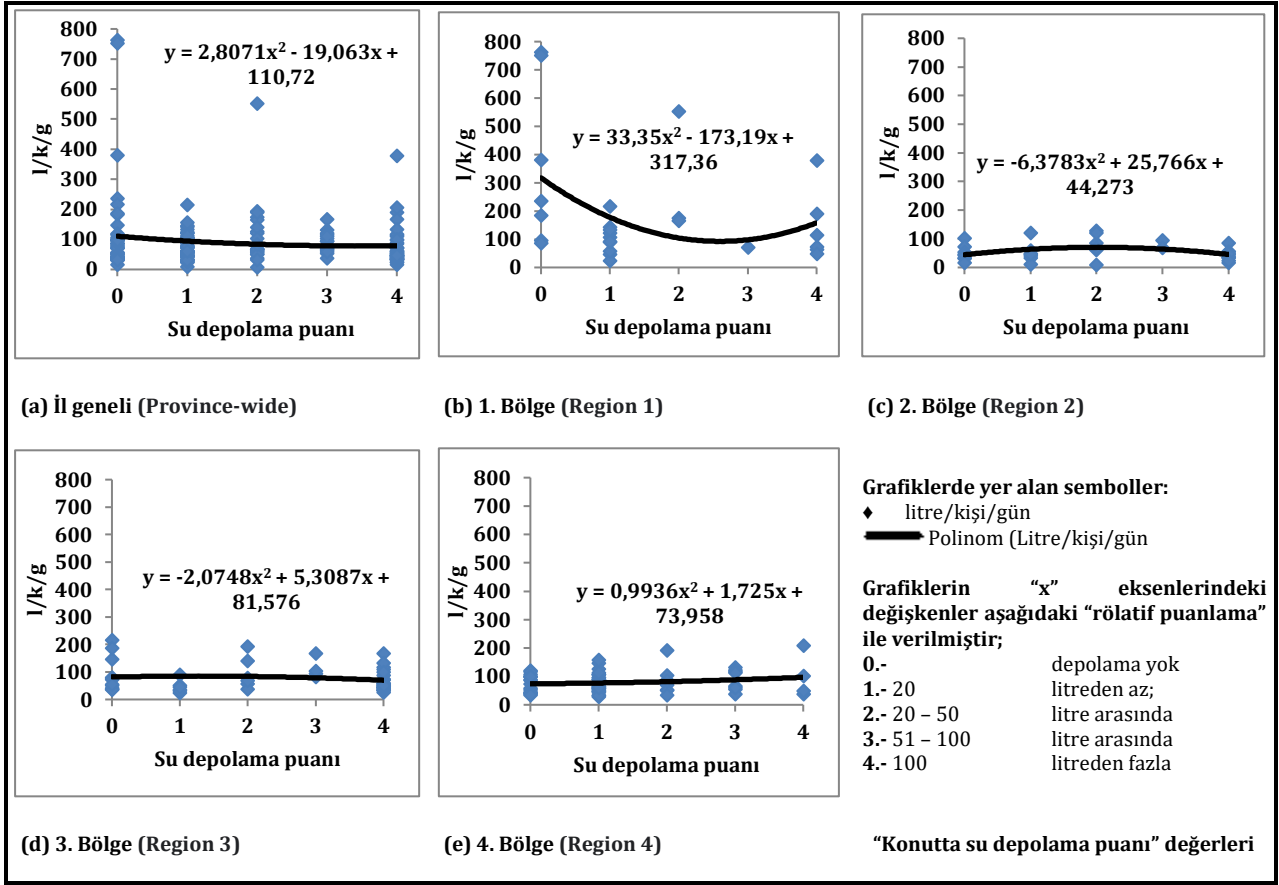
Şekil 2.1. Konut nüfus yoğunluğuna göre su tüketimi (Water consumption by residential population density)



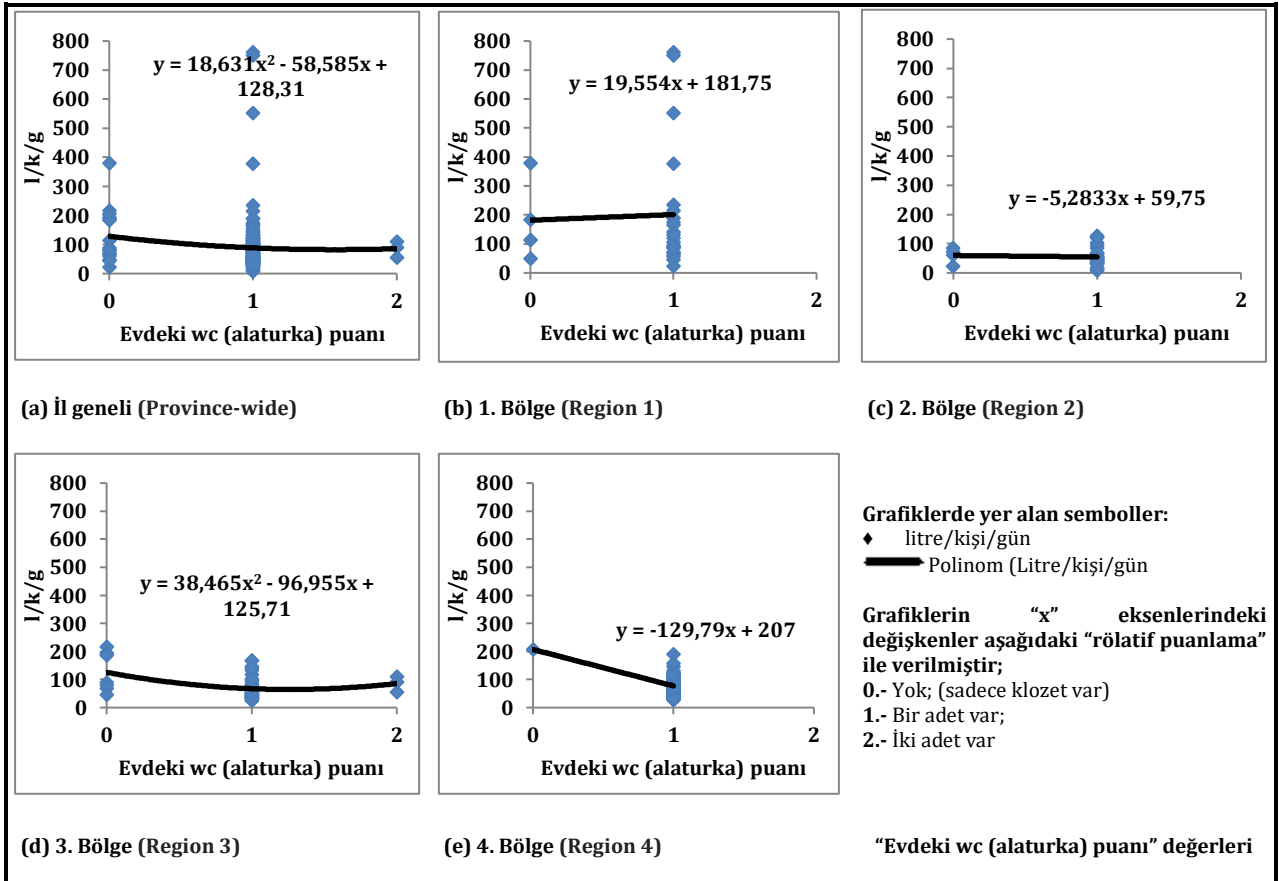
Şekil 2.2. Abonenin eğitim durumuna göre su tüketimi (Water consumption according to the subscriber's education level)



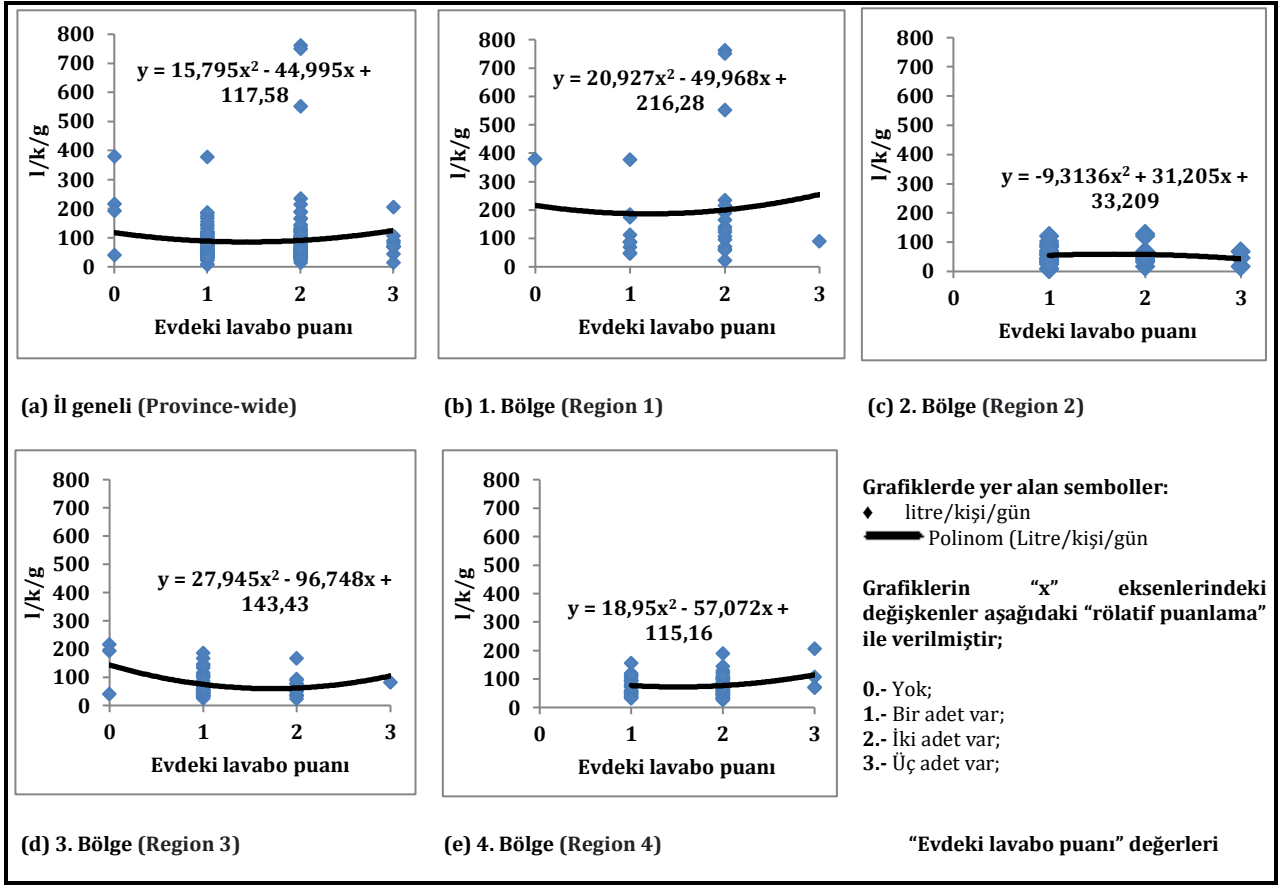
Şekil 2.3. Binadaki yalıtım durumuna göre su tüketimi (Water consumption according to the insulation status of the building)



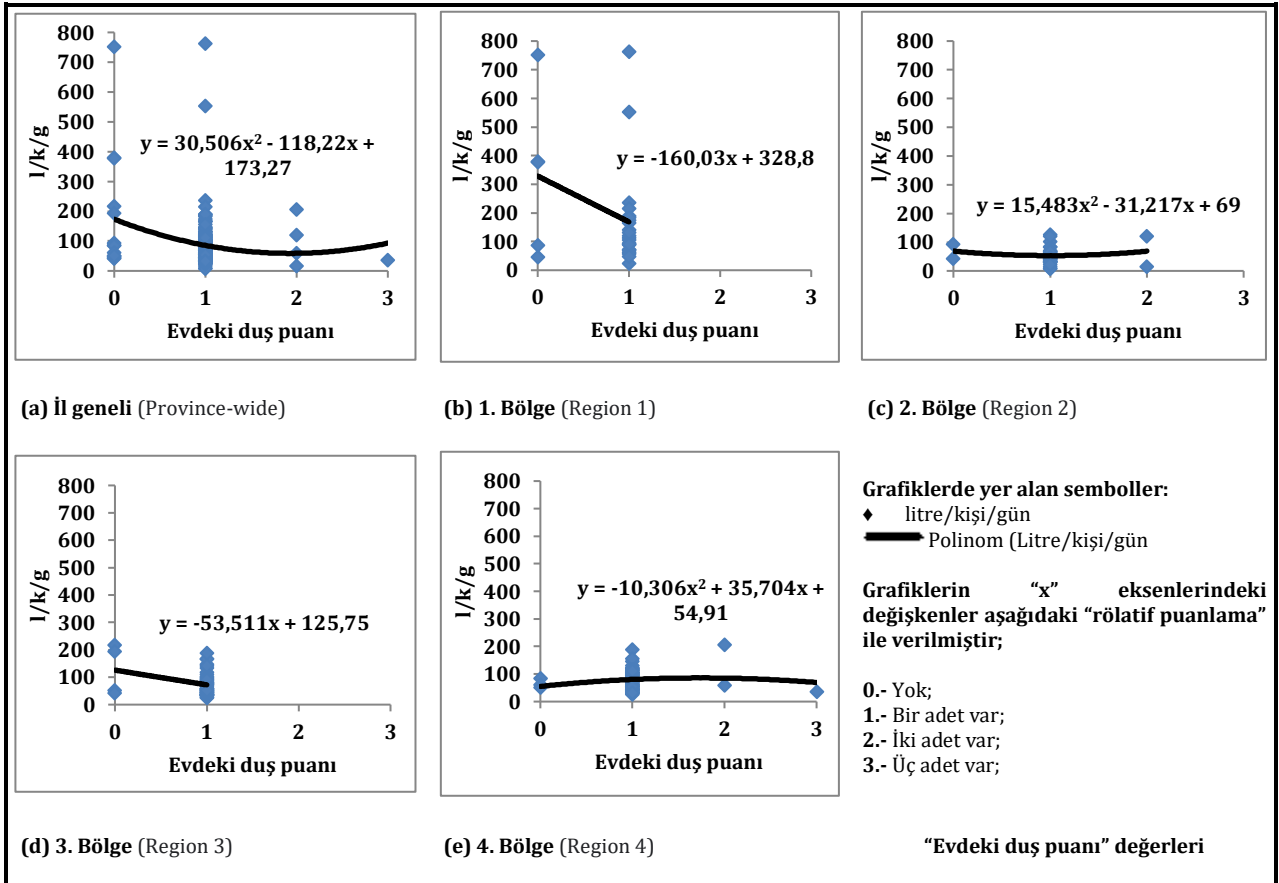
Şekil 2.4. Su depolama durumuna göre su tüketimi (Water consumption according to water storage status)



Şekil 2.5. Evdeki wc (alaturka) adedine göre su tüketimi (Water consumption according to the number of toilets in the house)



Şekil 2.6. Evdeki lavabo adedinde göre su tüketimi (Water consumption according to the number of sinks in the house)



Şekil 2.7. Evdeki duş adedinde göre su tüketimi (Water consumption according to the number of showers in the house)

Kişi başına günlük konutsal su tüketimi ile diğer değişkenler arasında (özellikle projeksiyonlarda kullanılabilir bağıntı aramak amacıyla) hesaplanan korelasyon matrisi Tablo 3.'te verilmiştir. İl genelinde ve bölgelerde; 1.nci bölgede bina yalıtımı ($r=0,55$) ($p \geq 0,01$), su depolama ($r=0,50$) ($p \geq 0,01$), konut nüfus yoğunluğu ($r=-0,42$) ($p \geq 0,05$); 2.nci bölgede konut nüfus yoğunluğu ($r=-0,40$) ($p \geq 0,05$); 3.ncü bölgede konut nüfus yoğunluğu ($r=-0,60$) ($p \geq 0,01$), alaturka tuvalet adedi ($r=0,44$) ($p \geq 0,01$), lavabo adedi ($r=0,38$) ($p \geq 0,01$), konut dışı su tüketimi ($r=0,48$) ($p \geq 0,01$), su tüketiminden memnuniyet ($r=0,39$) ($p \geq 0,01$), su temini çalışmalarından memnuniyet ($r=-0,33$) ($p \geq 0,05$), duş adedi ($r=0,31$) ($p \geq 0,05$), cinsiyet durumu ($r=0,33$) ($p \geq 0,05$); 4.ncü bölgede konut nüfus yoğunluğu ($r=-0,69$) ($p \geq 0,01$), alaturka tuvalet adedi ($r=0,44$) ($p \geq 0,01$), termosifon adedi ($r=-0,27$) ($p \geq 0,05$), suyun tadı ($r=0,29$) ($p \geq 0,05$), binaların benzerliği ($r=0,26$) ($p \geq 0,05$); İl genelinde konut nüfus yoğunluğu ($r=-0,39$) ($p \geq 0,01$), binada yalıtım durumu ($r=0,29$) ($p \geq 0,01$), duş adedi ($r=0,27$) ($p \geq 0,01$), güneş enerjisi ($r=0,20$) ($p \geq 0,01$), lavabo adedi ($r=0,19$) ($p \geq 0,05$), su depolama ($r=0,18$) ($p \geq 0,05$), binada oturma süresi ($r=-0,16$) ($p \geq 0,05$); gibi faktörlerin çok önemli ve önemli düzeyde kişi başına konutsal su tüketiminde etkili olduğu Tablo 3.'ten anlaşılmaktadır. Bununla birlikte su tüketimine etki eden faktörlerin araştırılması amacıyla yapılan anketten, İl geneli ve bölgelerde bu faktörler dışında daha birçok faktörün de su tüketiminde etkili olduğu görülmektedir.

Tablo 3. Korelasyon değerleri (Correlation values)

No:	Değişkenin Adı	Kişi başına su tüketimi ile diğer değişkenler arasında hesaplanan korelasyon katsayıları				
		Kilis geneli	1. Bölge	2. Bölge	3. Bölge	4. Bölge
1	Su tüketim verileri (litre/kişi/gün)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2	Eğitim durumu	0.14	0.31	0.02	0.06	0.17
3	Meslek grubu	0.02	-0.07	-0.09	0.21	-0.02
4	Yaş grubu	-0.12	-0.31	-0.13	-0.12	-0.15
5	Cinsiyet	0.13	0.04	0.20	0.33*	0.05
6	Ailedeki birey sayısı	-0.39**	-0.42*	-0.40*	-0.60**	-0.69**
7	Abonenin gelir grubu	0.01	-0.36	0.19	0.02	0.11
8	Medeni hal	0.03	-0.04	0.04	0.13	0.15
9	Binanın cinsi	0.07	-0.08	-0.05	0.27	0.03
10	Binanın diğer binalar ile benzerliği	0.04	-0.07	-0.03	0.11	0.26*
11	Binanın tipi	-0.02	0.03	-0.13	0.06	-0.06
12	Binadaki kat sayısı	0.08	0.06	0.02	-0.01	-0.09
13	Binanın yaşı	-0.12	-0.05	-0.05	-0.13	0.00
14	Binadaki yıllık yakıt tüketimi	-0.02	-0.00	-0.21	-0.03	0.05
15	Binada yalıtım var mı?	0.29**	0.55**	0.10	0.08	0.06
16	Binada kuyu var mı?	-0.05	-0.19	0.16	0.21	-0.04
17	Bina tek su sayacına mı bağlı	.b	.b	.b	.b	.b
18	Binada su deposu var mı?	0.05	0.05	0.24	0.01	0.18
19	Binanın bahçesi var mı?	-0.07	-0.01	-0.10	-0.10	0.09
20	Binanın bahçesi sulanıyor mu?	-0.07	-0.01	-0.10	-0.10	0.09
21	Ev kaç metrekaare	-0.07	0.00	-0.03	0.01	-0.21
22	Kaç yıldır burada oturuyorsunuz	-0.16*	-0.23	-0.27	-0.14	-0.09
23	Son iki aydaki su tüketimi ne kadar	-0.01	-0.04	0.11	0.26	0.15
24	Su fiyatlarını nasıl buluyorsunuz	0.03	0.24	-0.08	-0.08	-0.09
25	Musluk suyunu içme suyu olarak kullanıyor musunuz?	-0.01	-0.13	-0.11	0.14	0.19
26	Suyun tadını beğeniyor musunuz?	0.06	-0.03	-0.13	-0.09	0.29*
27	Su kesintisi oluyor mu?	0.02	-0.06	-0.07	0.27	-0.01
28	Su kesintisine karşı su stoku yapıyor musunuz?	0.06	0.33	-0.14	0.23	0.06
29	Ne kadar su stoku yapıyorsunuz	0.18*	0.50**	-0.09	0.17	-0.08
30	Başka kaynaktan su kullanıyor musunuz?	-0.01	-0.08	-0.22	0.18	0.12
31	Başka hangi kaynaklardan su kullanıyorsunuz	-0.04	-0.09	0.02	0.07	0.04
32	Evdeki alafrağa tuvalet sayısı	-0.07	0.23	-0.3	-0.08	-0.03
33	Evdeki alaturka tuvalet sayısı	0.12	-0.02	0.02	0.44**	0.44**
34	Evdeki lavabo sayısı	0.19*	0.20	-0.09	0.38**	0.15
35	Evdeki duş sayısı	0.27**	0.33	0.07	0.31*	-0.05
36	Evinizde jakuzi var mı?	-0.05	.b	.b	-0.27	-0.16
37	Evinizde güneş enerjisi var mı?	0.20**	0.23	0.12	-0.05	0.07
38	Evinizde termosifon var mı?	-0.04	-0.09	-0.10	-0.22	-0.27*
39	Evdeki elektronik eşyalar neler	0.00	0.11	-0.10	-0.02	-0.09
40	En çok suyu ne için tüketiyorsunuz	-0.02	-0.07	-0.15	0.14	-0.19
41	Konut dışı nerelerde su kullanıyorsunuz	-0.01	-0.12	-0.09	0.48**	-0.06
42	Su kullanım şekliniz	-0.07	-0.14	0.01	0.22	-0.07
43	Aylık tükettiğiniz su miktarından memnun musunuz?	-0.04	-0.09	0.03	0.39**	-0.09
44	Aylık su tüketiminizi azaltmayı düşünüyor musunuz?	-0.07	-0.25	-0.31	-0.06	-0.15
45	Su tasarrufu için çalışmalar sizce yeterli mi?	-0.01	-0.05	0.02	0.16	-0.03
46	Kullanılan su için sizce sorunlar neler	-0.02	-0.15	-0.11	0.21	0.22
47	Su temini konusundaki çalışmalar sizce yeterlimi	0.00	0.04	0.05	-0.33*	0.04
48	Su hakkında hangi yollarla bilgi alıyorsunuz	0.05	0.09	0.31	0.04	-0.02
49	Su faturanızı düzenli olarak ödüyor musunuz?	-0.00	0.00	-0.09	0.06	-0.02

* Korelasyon 0.05 düzeyinde önemlidir

** Korelasyon 0.01 düzeyinde önemlidir

.b Veri yetersizliği nedeniyle bağımlı değişken ile korelasyon kurulamamıştır

Türkiye'de belediyeler tarafından evlere ulaştırılan su miktarı 2006 da 5,16 milyar m³ den 2014 de 5,24 milyar m³ e ulaşmıştır. Aynı dönemde toplam belediye sayısında (3225 den 1396 düşmüştür) ciddi azalma olmasına rağmen evlere ulaştırılan su miktarında artış olmasının en büyük nedeninin, şehirlerdeki nüfus artışı olduğu söylenebilir.

Evsel kullanım için kişi başı günlük su miktarı ise 2006 yılında 245 l/k/g iken bu rakam 2014'de 203 l/k/g'e gerilemiştir. Bunu da suyu daha tasarruflu kullanan teknolojik gelişmeler (öncesine göre daha az su kullanan çamaşır ve bulaşık makineleri, vb) ile toplumun bilinçlenmesine bağlayabiliriz (TÜİK, 2015). Avrupa Çevre Ajansı analizlerine göre Avrupa Birliği üyesi ülkelerde ise bu tüketim ortalama 144 l/k/g gün olup, alınan bilimsel ve teknolojik önlemlerle giderek azalmaktadır (EEA, 2018). Gelişmiş ülkelerde günlük su tüketimi (2000'li yıllarda) Türkiye'nin şu andaki kullanım miktarı kadar iken (yaklaşık 250 l/k/g); günümüzde özellikle evlerde kullanılan su tasarruflu ve teknolojik makinelerle bu miktar 130 l/k/g'e düşürülmüştür. Slovakya, Çek Cumhuriyeti ve Macaristan'da son yıllarda 100 l/k/g'ün altına indirilmesi başarılmıştır (Öztürk, 2017).

Evsel su kullanımı, suyu kullanan bireylerin yaşı, mesleği, kültürel tercihleri, hane geliri gibi bir dizi faktörden etkilenir. Örneğin, bir bireyin faaliyetleri yaşla ve ilgili yaşam tarzıyla birlikte değiştiğinden, bina sakinlerinin yaşı su kullanımını etkiler (Browne vd., 2014). Çocukların ve gençlerin yetişkinlerden daha uzun süre duş aldıkları ve bu nedenle evsel su kullanımının arttığı tespit edilmiştir (Mayer vd., 1999). Almanya'da, emekli olan yaşlıların genellikle evde daha fazla zaman geçirmesi ve bunun da evdeyken su kullanma olasılığının artması anlamına gelmesi nedeniyle evsel su kullanımının yaşla birlikte arttığı bulunmuştur (Schleich ve Hillenbrand, 2009). Konutlarda; borularda, tuvaletlerde, musluklarda düzenli olarak sızıntı ve su kayıpları meydana gelir. Sızıntı ve su kayıpları, evsel su kullanımının %10-20'sine tekabül ederken, hanelerin yalnızca %17'sinde önemli miktarda kaçak vardır (Heinrich, 2009). Pakistan, Karaçi'deki düşük ve yüksek gelirli abonelerin su tüketimleri arasında yapılan bir araştırmada; toplam tüketimin çarpıcı biçimde farklı olmasına karşın (55 l/k/g'e karşı ikinci durumda 250 l/k/g/gün), tuvalet sifonu için fiilen kullanılan su miktarının oldukça benzer olduğu saptanmıştır (Green 2003).

Hane halkı büyüklüğü önemli ölçüde değişiklik gösterir ve toplam evsel su kullanımını etkileyen en önemli faktör olduğu tespit edilmiştir (Rathnayaka vd., 2014). Bir hane halkının kişi başına su kullanımı, hane halkı büyüklüğü arttıkça azalır, çünkü birçok su kullanım faaliyeti çamaşır makinesi, temizlik, bulaşık makinesi ve yemek pişirme gibi birden fazla hane üyesine fayda sağlar (Crouch vd., 2021).

Regresyon analizi sürecinde yapılan Durbin-Watson testi (SPSS) uygulamasında, ± 2 den büyük artık değerleri rapor etmesi istendiğinde, eğer verinin %10'unu geçmeyecek sayıda bu sınırı aşan artık değer varsa genelde problem olarak görülmez (Montgomery, 2001). Bu bağlamda hangi faktörlerin su tüketimine etken oldukları ve etki derecelerini tayin için yapılan regresyon analizi sonucu, faktörlerin seçiminde etki düzeyi 0,1 den büyük ve -0,1'den küçük ($0,1 \leq r \leq -0,1$) olanlar değerlendirmeye alınmıştır. Buna göre Tablo 3.'teki korelasyon değerleri, Ek A ve Ek B'de verilen grafikler incelendiğinde su tüketimi ile bazı değişkenler arasında ilişkilerin olduğu görülmektedir. İl geneli ve bölgelerde su tüketimini etkileyen ortak faktörün konut nüfus yoğunluğu olduğu diğer faktörlerin ise ayrı ayrı ya da İl geneli ve birkaç bölgede etkili olduğu görülmektedir. İl'de yapılan araştırma sonucu bulunan "kişi başına günlük konutsal su tüketimini" etkileyen faktörlerin, literatürde öngörülen genel faktörler ile (nüfus, iklim, sosyo ekonomik yapı, su kalitesi vb.) uyumlu olduğu görülmüştür.

4. Sonuç ve Öneriler (Conclusion and Recommendations)

Yapılan araştırmalardan, kişi başına günlük konutsal su tüketimi değerleri, 1.nci bölgede 109,3 l/k/g, 2.nci bölgede 55,1 l/k/g, 3.ncü bölgede 60,6 l/k/g, 4.ncü bölgede 71,3 l/k/g, Kilis genelinde ise 79,12 l/k/g bulunmuştur. Bu değerler göz önüne alındığında Kilis genelinde abonelerin % 55,05'inin 79,12 l/k/g'den daha az su kullandıkları anlaşılmaktadır. İl'de hali hazırda oldukça düşük olan kişi başına konutsal su tüketim değerleri, şehrin sosyo ekonomik yapısında beklenen gelişmelerin gerçekleşmesi durumunda artacaktır.

İl geneli ve bölgeler bazında su tüketimini etkileyen faktörler (konut nüfus yoğunluğu, eğitim durumu, su depolama, konutlardaki tesisat durumu, hayat standardı vb.) saptanmıştır. Bu çerçevede, eğitim düzeyi yükseldiğinde ve hane nüfus yoğunluğu azaldığında, şehirde yaşayan insanların su tüketiminde artış olacaktır. Önümüzdeki yıllarda; Kilis'teki mevcut yapılaşmanın durumu ve insanların sosyo-ekonomik yapısındaki değişimler dikkate alındığında İl'de; birçok yeni, çok katlı, daha geniş alana sahip, betonarme ve bahçeli binaların sayılarında artış olacağı beklenmektedir. Yeni binaların yapı tarzları göz önüne alındığında İl'deki su tüketiminin arttıracağı söylenebilir. Bu bağlamda yapılacak olan su temini projelerinde İl'de su tüketimine etkisi saptanan faktörler ve İl'in sosyo ekonomik yapısında olacak gelişmeler mutlaka dikkate alınmalıdır.

Güney Afrika, Johannesburg Belediyesi; insanların temel ihtiyaçlarını karşılamak üzere; kişi başına günlük 25 litre suyun ücretsiz ve bunun dışında tüketilen suyun ise abonelere ön ödemeli olarak verilmesi uygulamasını benimsemiştir. Bunun (25 l/k/g) yeterli olmadığı gerekçesiyle açılan davalar ve yapılan itirazlar sonucunda Anayasa Mahkemesi belediye tarafından benimsenen 25 l/k/g "ücretsiz su" verilmesi uygulamasının Anayasa'ya uygun olduğuna "ön ödemeli" su kullanımının ise uygun olmadığına karar vermiştir (WHO, 2010). Bu çerçevede tüm dünyada kutsal bir hak olarak kabul edilmiş olan "yaşama hakkı" da esas alınırsa insanların hatta tüm canlıların asgari su gereksinimleri bedelsiz olarak sağlanmalıdır.

Yerleşim birimlerine su sağlanması çalışmalarında “su talebi”, “tasarruflu tüketim” ve “sarfiyat salınım” yöntemleri birlikte uygulanırsa su daha verimli kullanılabilir. Bununla birlikte, bu tür verimlilik iyileştirmeleri, mevcut uygulamalar, davranış, mevcut teknoloji ve satın alınabilirlik gibi hususlarla sınırlıdır (Adler, 2011).

Sonuç olarak, Kilis'te saptanan su tüketim değerleri dikkate alındığında, su kayıp ve kaçakları önlediği takdirde, mevcut içme ve kullanma suyu kaynakları uzun yıllar yeterli olacaktır. Şehir şebekesine verilen su miktarı mutlaka ölçülmeli (arıtma dışında şebekeye verilen su dâhil), sayaç okumaları düzenli ve doğru bir şekilde yapılmalıdır. Şebekeye verilen su ile sayaçlardan yapılan ölçüm değerleri sürekli kontrol edilmelidir. Ayrıca doğal kaynakların özellikle de “**su kaynaklarının**” sürdürülebilirliği çerçevesinde; dünyada ve hali hazırda su stresi çeken Türkiye'de yakın gelecekte nüfusun büyük çoğunluğunun su yokluğu riski ile karşı karşıya kalmaması “**su tasarrufu**” ve “**su kaynaklarının yönetimi**” prensiplerine uyulması ile mümkündür. Bu çalışmada; bu konuda alınması gereken idari ve yasal tedbirler konusunun önemi; bir kez daha ortaya çıkmıştır. Kutsal olan yaşam hakkının korunmasında yapılması gereken “su verimliliği” çalışmalarına önemli katkıda bulunulmuştur.

Teşekkür (Acknowledgement)

Bu araştırma Kilis 7 Aralık Üniversitesi Bilimsel Araştırma ve Projeler Birimi (BAP) tarafından 2011/MAP07 nolu proje kapsamında desteklenmiştir. Destekleri için Kilis 7 Aralık Üniversitesi BAP birimine 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)

- Adler, I. 2011. Domestic water demand management: implications for Mexico City. *International Journal of Urban Sustainable Development* 3 (1), 93-105.
- Ağaç, S., Çivitçi, Ş. ve Dengin, S., 2015. Öğrenci Yurtlarında Giysi Bakım ve Muhafaza Durumunun Belirlenmesi ve Yaşanılan Sorunlar. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 3 (3), 189-197. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/jesd/issue/20874/224020>
- Akdağ, R., 2015. Kentsel Su Sunumunda Bir Yönetim Aracı Olarak Su Talep Tahmini. *Niğde Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, Yıl: Temmuz-2015, Cilt-Sayı: 8(3) ss: 69-81 ISSN: 2148-5801 e-ISSN 1308-4216
- Aküzüm, T., Çakmak, B. ve Gökçalp, Z., 2010. Türkiye'de Su Kaynakları Yönetiminin Değerlendirilmesi. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, (1, 67-74). Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tabad/issue/34782/385073>
- Arıkan, R., 2018. Anket Yöntemi Üzerinde Bir Değerlendirme. *Haliç Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 1 (1), 97-159. Retrieved from: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/husbd/issue/39647/452737>
- Athuraliya, A., Roberts, P. & Brown, A. 2012. Residential Water Use Study. Yarra Valley Water, Mitcham, Australia.
- Browne, A. L., Pullinger, M., Medd, W. & Anderson, B., 2014. Patterns of practice: a reflection on the development of quantitative/mixed methodologies capturing everyday life related to water consumption in the UK. *International Journal of Social Research Methodology* 17 (1), 27-43.
- CESCR, 2003. United Nations Committee on Economic, Social and Cultural. Right General Comment No. 15: The Right to Water (Arts. 11 and 12 of the Covenant), E/C.12/2002/11.
- Chakravartty A. 2015. Down to earth. July 04. [accessed 2020 Jun]. <https://www.downtoearth.org.in/>; <https://www.downtoearth.org.in/news/delhis-water-supply-skewed-and-mismanaged-38489>
- Crouch, M.L., Jacobs, H.E., and Speight, V.L., 2021. Defining domestic water consumption based on personal water use activities. *AQUA Water Infrastructure, Ecosystems and Society* Vol 70 No 7, 1002 doi: 10.2166/aqua.2021.056
- ÇED, 2011. Çevre Durum Raporu. Kilis Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, Kilis.
- Demir Y., 1993. Türkiye ve Susuzluğa Doğru Yolculuk. Dünya Su Günü Konferansı, OMÜ, Ziraat Fakültesi, 22 Mart 1993, Samsun.
- DSİ, 2013. Kilis İli Yeraltı Suyu Potansiyeli Araştırma Raporu. DSİ 20. Bölge Müdürlüğü, Kahramanmaraş.
- Dünya Bülteni, 2006. http://www.dunyabulteni.net/haber_detay.php?haber_id=2127
- EEA, 2018. Water use in Europe. Quantity and quality face big challenges, European Environment Agency, Erişim tarihi 2023, erişim adresi: <https://www.eea.europa.eu/signals/signals-2018-content-list/articles/water-use-n-europe-2014>
- Gentle, J. E., 2003. Random Number Generation and Monte Carlo Methods. Second Edition, USA.
- Gokalp I., Ozinal Y., Uz V. E., 2018. Atık Bitkisel Yemelik Yağların Saf Bitüm Özelliklerine Etkisinin Araştırılması. *Journal of Engineering Sciences and Design*, 6(4), 570 - 578.
- Green C. 2003. Handbook of water economics, principles & practice. Chichester (UK): John Wiley & Sons.
- Hay, E. R., Riemann, K., Van, Zyl, G. & Thompson, I., 2012. Ensuring water supply for all towns and villages in the Eastern Cape and Western Cape Provinces of South Africa. *Water SA* 38 (3), 437-444.
- Heinrich, M. 2009. Auckland water use study - monitoring of water end uses. In: Proceedings of SB10 Conference, New Zealand. Available from: <https://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB18045.pdf> (accessed 5 May 2021).
- İKA, 2014. Kilis Yatırım Fırsatları Raporu. İpekyolu Kalkınma Ajansı, Kilis Yatırım Destek Ofisi, Gaziantep.
- İLBANK, 2011. Kilis İli İçme Suyu Projesi Hidrolojik Raporu. İller Bankası Genel Müdürlüğü, Ankara.
- İLBANK, 2013. İçme Suyu Tesisleri Etüt, Fizibilite ve Projelerinin Hazırlanmasına Ait Teknik Şartname. İller Bankası Genel Müdürlüğü, Sayfa: 8, Çizelge 4.5, Ankara.
- İscil, N., 1977. Örneklem Yöntemleri. Ankara İktisadi ve Ticari İlimler Akademisi, Yayın No: 13, Ankara.

- Karamouz, M., Szidarovszky, F. and Zahraie, B., 2003. *Water Resources System Anallysis*, Lewis Publishers, A CRC Press Company Boca Raton London, New York Washington, D.C., USA.
- Kılıç, S., 2012. Örnek büyüklüğü, Güç Kavramları ve Örnek Büyüklüğü Hesaplaması. *Journal of Mood Disorder*, 2 (3), 140-2. DOI: 10.5455/jmood.20120921043306
- Mayer, P. W., DeOreo, W. B., Opitz, E. M., Kiefer, J. C., Davis, W. Y., Dziegieliewski, B. & Nelson, J. O. 1999. *Residential End Uses of Water*. American Water Works Association Research Foundation and American Water Works Association, Denver, CO, USA.
- Montgomery, D. C., Peck, E. A. and Vining, G. G. 2001. *Introduction to Linear Regression Analysis*. 3rd Edition, New York, New York: John Wiley & Sons.
- ODTÜ, 1976. Bursa Su Temini Projesi Ana Plan ve Fizibilite Raporu Cilt: 1. ODTÜ Su Kaynakları Lab., DSİ Gn. Md.'ü, Ankara.
- Orhon, Ö., 2007. Demografik Yapıda Görülen Değişimlerin Çalışma Hayatına Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Tez Danışmanı: Prof. Dr. Sedat Murat, T.C. İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Öztürk Y. ve Orhan H., 2000. Kahramanmaraş İlinde Konutsal Su Tüketimine Etki Eden Faktörler. *KSÜ Fen ve Müh. Dergisi*, Cilt:2, Sayı:1, s:138-148, Kahramanmaraş.
- Öztürk, M., 2017. Evlerde ve İşyerlerinde %35 Daha Az Su Kullanma Kılavuzu. Çevre Şehir Kütüphanesi. Erişim tarihi 2023, erişim adresi: <https://docplayer.biz.tr/51352718-Evlerde-ve-isyerlerinde-35-daha-az-su-kullanma-klavuzu.html>
- Rathnayaka, K., Maheepala, S., Nawarathna, B., George, B., Malano, H. & Arora, M. 2014. Factors affecting the variability of household water use in Melbourne, Australia. *Resources, Conservation and Recycling* 92, 85-94.
- Schleich, J. ve Hillenbrand, T. 2009. Determinants of residential water demand in Germany. *Ecological Economics* 68, 1756-1769.
- Tamason, C. C., Bessias, S., Villada, A., Tulsiani, S. M., Ensink, J. H. J., Gurley, E. S., and Jensen, P. K. M., 2016. Measuring domestic water use: a systematic review of methodologies that measure unmetered water use in low-income settings. *Tropical Medicine and International Health*, DOI:10.1111/tmi.12769, volume 21 no 11 pp 1389-1402.
- TSO, 2013. Kilis İli Endüstri Sektörü İzleme Kayıtları. Kilis Ticaret ve Sanayi Odası, Kilis.
- TÜİK, 2015. Belediye Su İstatistikleri 2014. Türkiye İstatistik Kurumu, <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Belediye-Su-İstatistikleri-2014-18779>
- Ünver, Ö. ve Gamgam, H., 1986. *Uygulamalı İstatistik Yöntemler*. Baskı: Siyasal Kitabevi, Ankara.
- WHO, 2003. World Health Organization Office of the High Commissioner for Human Rights (OHCHR), Centre on Housing Rights and Evictions (COHRE), Water Aid, Centre on Economic, Social and Cultural Rights. *The Right to Water*. http://www2.ohchr.org/english/issues/water/docs/Right_to_Water.pdf
- WHO, 2010. United Nations, Office of the High Commissioner for Human Rights (OHCHR), United Nations Human Settlements Programme (UN-HABITAT), *The Right to Water*, Fact Sheet No. 35. World Health Organization (WHO). <http://www.ohchr.org/Documents/Publications/FactSheet35en.pdf>
- Willis, R. M., Stewart, R. A., Panuwatwanich, K., Williams, P. R. & Hollingsworth, A. L., 2011. Quantifying the influence of environmental and water conservation attitudes on household end use water consumption. *Journal of Environmental Management* 92, 1996-2009.



KAOTİK PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYONU KULLANARAK EKONOMİK YÜK DAĞITIMI PROBLEMİNİN ÇÖZÜMÜ

İbrahim EKE^{1*}, Mustafa SAKA², Süleyman Sungur TEZCAN³

¹ Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kırıkkale, Türkiye

² İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Hatay, Türkiye

³ Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

Anahtar Kelimeler

*Ekonomik Yük Dağıtımı,
CPSO,
İletim Hattı Kayıpları.*

Öz

Güç sistemlerinde enerji üretim maliyetlerinin azaltılması amacıyla gerçekleştirilen çalışmalar her geçen gün artmaktadır. Bu nedenle günümüzdeki güç sistemleri için ekonomik yük dağıtımı önemli bir konudur. Ekonomik yük dağıtımı (EYD), güç sistemlerinin minimum maliyet ile çalıştırılabilmesi için her bir üretim ünitesinin ne kadar güç üretmesi gerektiğinin belirlenmesinin planlanmasıdır. Elektrik üretim birimleri arasında ekonomik yük dağıtımı yapılması, ucuz elektrik üretmeye yardımcı olması açısından oldukça önemlidir. Sezgisel optimizasyon yöntemleri birçok mühendislik probleminde olduğu gibi ekonomik yük dağıtımı için de kullanılmaktadır. Problemin kısıtları ve karmaşıklığına göre optimizasyon yöntemlerinin performansı da değişmektedir. Bu çalışmada, Kaotik Parçacık Sürü Optimizasyonu (CPSO) ile ekonomik yük dağıtımı probleminin çözümü amaçlanmıştır. CPSO, 6 üretim ünitesine sahip bir test sistemine uygulanmıştır. İletim hattı kayıplarının dâhil edildiği ve edilmediği durumlar ayrı ayrı analiz edilmiştir. CPSO ile elde edilen sonuçlar, literatürde yer alan Yapay Arı Kolonisi (YAK) ve Diferansiyel Gelişim Optimizasyonu (DGO) metotları ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, önerilen yöntemin ekonomik yük dağıtımı problemlerinde kullanılabilirliğini ve etkinliği göstermiştir.

SOLUTION OF THE ECONOMIC LOAD DISPATCH PROBLEM USING CHAOTIC PARTICLE SWARM OPTIMIZATION

Keywords

*Economic Load Dispatch,
CPSO,
Transmission Line Losses.*

Abstract

Efforts to reduce energy generation costs in power systems are increasing day by day. Therefore, economical load dispatch is an important issue for today's power systems. Economic load dispatch (EYD) is the planning of determining how much power each generation unit should produce in order to operate power systems with minimum cost. Economic load dispatch among electricity generation units is very important in terms of helping to generate cheap electricity. Heuristic optimization methods are used for economical load dispatch as well as for many engineering problems. The performance of optimization methods also changes according to the constraints and complexity of the problem. In this study, it is aimed to solve the economic load dispatch problem with Chaotic Particle Swarm Optimization (CPSO). Particle Swarm Optimization is applied to a test system with 6 generation units. Cases with and without transmission line losses are analyzed separately. The results obtained with CPSO are compared with Artificial Bee Colony (ABC) and Differential Evolution Optimization (DEO) methods in the literature. The obtained results showed the usability and effectiveness of the proposed method in economic load dispatch problems.

Alıntı / Cite

Eke, İ., Saka, M., Tezcan, S.S. (2023). Kaotik Parçacık Sürü Optimizasyonu Kullanarak Ekonomik Yük Dağıtımı Probleminin Çözümü, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(3), 957-965.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

İ. Eke, 0000-0003-4792-238X
M. Saka, 0000-0003-4157-2980
S. S. Tezcan, 0000-0001-6846-8222

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	08.08.2023
Revizyon Tarihi / Revision Date	24.07.2023
Kabul Tarihi / Accepted Date	16.08.2023
Yayın Tarihi / Published Date	28.09.2023

* İlgili yazar / Corresponding author: eke@kku.edu.tr, +90-318-357-42-42

SOLUTION OF THE ECONOMIC LOAD DISPATCH PROBLEM USING CHAOTIC PARTICLE SWARM OPTIMIZATION

İbrahim EKE^{1†}, Mustafa SAKA², Süleyman Sungur TEZCAN³

¹ Kırıkkale University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Electrical and Electronics Engineering, Kırıkkale, Türkiye

² İskenderun Technical University, Faculty of Engineering and Naturel Sciences, Department of Electrical and Electronics Engineering, Hatay, Türkiye

³ Gazi University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics Engineering, Ankara, Türkiye

Highlights

- Chaotic Particle Swarm Algorithm is applied to the economic load dispatch problem of six generation unit system.
- Analyzes are performed with and without transmission line losses.
- The effect of Chaotic Particle Swarm Algorithm on economic load dispatch problem is shown and the founded outputs are compared with Artificial Bee Colony Algorithm and Differential Evolution Optimization Algorithm.

Graphical Abstract

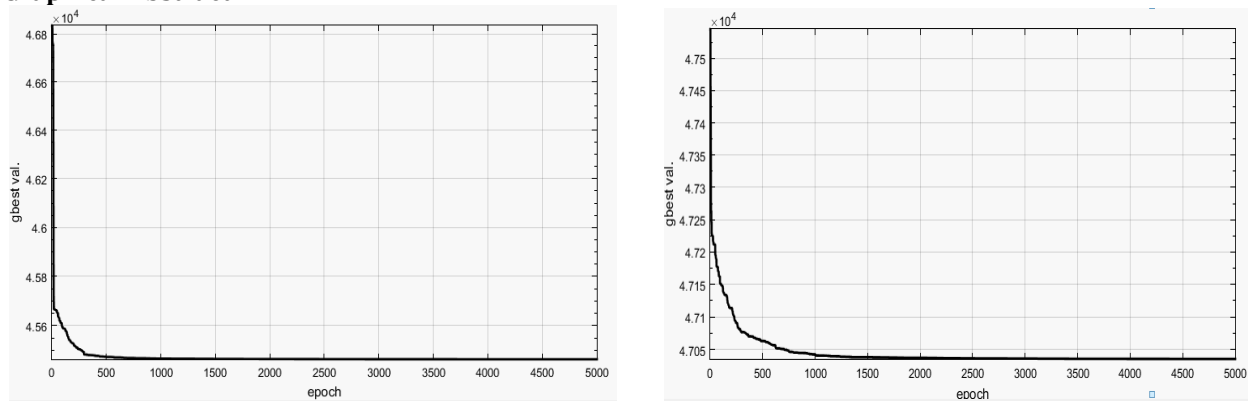


Figure. Fuel cost change graph during iteration (left; without transmission line losses, right; with transmission line losses)

Purpose and Scope

The main goal of this study is minimized the fuel cost of six-unit generation system considering with and without transmission line losses.

Design/Methodology/Approach

Chaotic Particle Swarm Algorithm is used in order to found optimal results.

Findings

For the case of neglected transmission line losses, total fuel cost value is found as 45463.5229 \$ with CPSO and it is less than ABC and DEO. For the case of including transmission line losses, lower transmission line loss power value is found as 31.7561MW with CPSO than ABC and DEO. In addition, lower fuel cost value is found as 47035.2799\$ than ABC.

Originality

In this study, Chaotic Particle Swarm Algorithm is selected for economic load dispatch problem of six-unit generation system with and without transmission line losses and its outputs are compared with the literature results.

[†] Corresponding author: eke@kku.edu.tr, +90-318-357-42-42

1. Giriş (Introduction)

Ekonomik yük dağıtımı, bir güç sisteminden talep edilen enerjinin, en düşük maliyetle karşılanması için üretim birimleri arasındaki üretim miktarının paylaşımını yapmayı ifade etmektedir. Bu paylaşım yapılırken üretim birimlerinin alt ve üst sınırları ve hat kayıplarını dikkate almak daha gerçekçi sonuçlara ulaşmak açısından oldukça önemlidir. Güç sistemlerinde EYD problemlerinin çözülmesi için çeşitli optimizasyon metotları kullanılmıştır. PSO, YAK ve DGO yöntemleri ile EYD problemi, 6 ve 40 jeneratörlü test sistemlerinde uygulanmış, rüzgâr enerji santralleri olan iletim hattı kayıplarını içeren durumlar incelenmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır (Çetin ve Daldaban, 2012). EYD problemi, Türkiye'deki 380 kV'luk 22 baralı 8 jeneratörlü güç sistemi için, Genetik Algoritma (GA) ve YAK optimizasyon algoritması kullanılarak incelenmiştir (Arslan, 2015). EYD problemi, DGO ve PSO algoritmalarını kullanarak, 3, 6 ve 8 jeneratörlü sistemler için çözülmüştür (Eminoğlu ve Karahan, 2017). GA ile Türkiye'deki 380 kV, 6 adet termik santral ve 14 baralı sistem için EYD analizi yapılmıştır (Döşoğlu vd., 2009). Yapay İşbirlikçi Algoritması ile 13 ve 40 jeneratörlü sistemlerin EYD analizi yapılmıştır (Turgut ve Demir, 2017). IEEE 6 jeneratörlü 30 baralı test sisteminde, PSO ile, çevresel EYD problemi hem hat kayıpları ihmal edilerek hem de hat kayıplarını dâhil edilerek çözülmüştür (Özyön vd., 2011). PSO ile GA ve DGO performansları, test fonksiyonları kullanılarak karşılaştırmışlardır, yakınsama hızı en yüksek PSO'da bulunmuştur (Özsağlam ve Cunkaş, 2008). Üretim ünitelerinin alt ve üst limitleri, istenilmeyen çalışma bölgeleri, maliyet fonksiyonları gibi lineer olmayan birçok karakteristik dikkate alınarak, 6 ve 15 jeneratörlü test sistemi için EYD problemi çözülmüştür (Gaing, 2003). Geleneksel PSO 'dan farklı bir yaklaşımla, mutasyon operatörleri uygulayarak, EYD problemini 6 jeneratörlü test sisteminde çözülmüştür (Khamsawang ve Jiriwibhakorn, 2009). PSO ile EYD probleminde, 3 ve 6 jeneratörlü sistemlerde hat kayıplarını da dâhil edilerek çözüm bulunmuştur (Hardiansyah vd., 2012).

Bu çalışmada, 6 jeneratörlü enerji sistemi model olarak kullanılmıştır. Bu sistemin EYD analizi, eylemsizlik ağırlık katsayısı içeren ve rastgele değişkenler yerine kaotik harita kullanan PSO algoritması kullanılarak iletim hattı kayıplarının dahil edildiği ve edilmediği durumlar için gerçekleştirilmiştir.

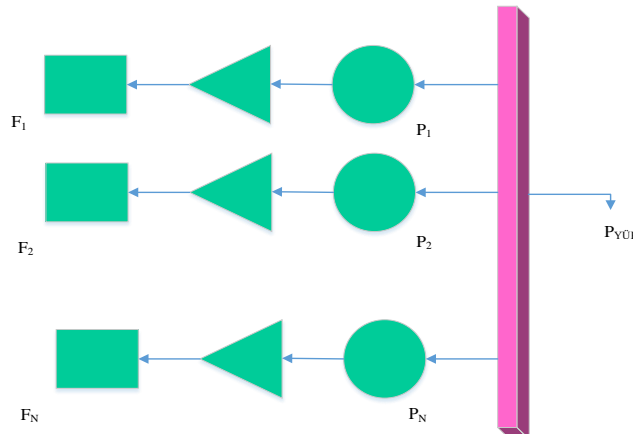
2. Problemin Tanımı (Definition of Problem)

Bir elektrik üretim santralini minimum maliyetle çalıştırabilmek için iletim hattı kayıpları ve yakıt maliyetleri minimum olmalıdır. Bu nedenle, her santralin ne kadar üretim yapacağı hesaplanarak toplam maliyet azaltılır. Üretim birimi tarafından üretilen güç ve yakıt maliyeti arasındaki ilişki Eş. 1'deki gibi gösterilir (Saadat, 1999).

$$F_i = a_i + b_i P_i + c_i P_i^2 \quad (1)$$

- F_i = i. üretim ünitesinin enerji üretim maliyeti
 a_i, b_i, c_i = i. üretim ünitesinin yakıt maliyet katsayıları
 P_i = i. üretim ünitesinin ürettiği güç

Aşağıdaki şekilde N adet üretim ünitesinin tek bir baraya bağlanarak, bu bara üzerinden sistemdeki $P_{yük}$ güç talebini karşılaması gösterilmiştir. Burada F_i ($i=1, 2, \dots, N$), ilgili üretim ünitesine ait yakıt maliyet fonksiyonunu temsil etmektedir. Ayrıca, her bir üretim ünitesi tarafından üretilen güç miktarı P_i ($i=1, 2, \dots, N$) ile temsil edilmektedir. Sistemde oluşan toplam yakıt maliyeti, her bir üretim ünitesinin maliyetinin toplamına eşittir. Ayrıca bu sistemler için, üretim üniteleri tarafından üretilen toplam çıkış gücünün, toplam talep gücüne eşit olması gerekmektedir (Wood vd., 2013). Bu durum Eş. 4 ile ifade edilmiştir.



Şekil 1. Üretim birimleri (Wood vd., 2013) (Generation units (Wood vd., 2013))

$$F_T = F_1 + F_2 + F_3 + \dots + F_N \quad (2)$$

$$F_T = \sum_{i=1}^N F_i(P_i) \quad (3)$$

$$P_{load} = \sum_{i=1}^N P_i \quad (4)$$

Ekonomik yük dağıtım problemlerinin çözümünde amaç fonksiyonundaki kısıtları artırmak için langrange çarpanı methodu kullanılmaktadır. Langrange fonksiyonu Eş. 5 ile gösterilmektedir (Wood vd., 2013).

$$L = F_T + \lambda (P_{load} - \sum_{i=1}^N P_i) \quad (5)$$

Bu denklemde L langrange fonksiyonunu ve λ belirsiz bir çarpan katsayısını temsil etmektedir. Bu fonksiyonun kısmi türevinin sıfıra eşit olduğu noktada, fonksiyon minimum değerini almaktadır.

$$\frac{\partial L}{\partial P_i} = \frac{dF_i(P_i)}{dP_i} - \lambda = 0 \quad (6)$$

$$0 = \frac{dF_i}{dP_i} - \lambda \quad (7)$$

Tüm birimlerin bazı belirsiz değerine eşit olan λ 'nın, artan maliyet oranı olarak, minimum maliyetli üretim operasyonunun olması için gerekli şarttır. Ekonomik yük dağıtım problemlerinde temel olarak iki önemli kısıt bulunmaktadır. Bunlardan ilki, üretim üniteleri tarafından üretilen gücün, o ünitenin minimum ve maksimum sınırları içerisinde olması durumudur. Bu durum Eş. 9 ile ifade edilmektedir. İkincisi ise, güç üniteleri tarafından üretilen gücün, sistemden talep edilen güce eşit olması durumudur. Bu durum ise Eş. 10 ile gösterilmiştir.

$$\frac{dF_i}{dP_i} = \lambda \quad (8)$$

$$P_{i,min} \leq P_i \leq P_{i,max} \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^N P_i = P_{load} \quad (10)$$

Güç sistemlerinde üretilen enerji uzak mesafelere iletilebileceğinden, iletim hatlarında bir miktar enerji kaybolmaktadır. Ekonomik yük dağıtımında bu durum toplam iletim hattı kayıpları olarak dikkate alınmaktadır. İletim hattında meydana gelen kayıplar Eş. 11 ile hesaplanmaktadır (Wood vd., 2013).

$$P_{Loss} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N P_i B_{ij} P_j + \sum_{i=1}^N B_{oi} P_i + B_{00} \quad (11)$$

B_{ij} katsayıları, B katsayıları olarak adlandırılmakta ve sabit olarak kabul edilmektedir (Wood vd., 2013).

EYD problemine iletim hattı kayıplarının dahil edilmesiyle birlikte Eş. 8 ve Eş. 9, aşağıda verilen Eş.12 ve Eş.13'teki gibi güncellenmektedir. İletim hattı kayıplarının dikkate alındığı güç sistemleri için sistem tarafından üretilen güç, sistemden talep edilen güç ve iletim hattı kayıp gücünün toplamına eşit olmaktadır. Bu durum ise Eş. 14 ile gösterilmiştir.

$$\frac{\partial L}{\partial P_i} = \frac{dF_i(P_i)}{dP_i} - \lambda(1 - \frac{\partial P_{loss}}{\partial P_i}) = 0 \quad (12)$$

$$\frac{dF_i(P_i)}{dP_i} + \lambda \frac{\partial P_{loss}}{\partial P_i} = \lambda \quad (13)$$

$$P_{load} + P_{loss} - \sum_{i=1}^N P_i = 0 \quad (14)$$

3. Parçacık Sürü Optimizasyonu (Particle Swarm Optimization)

Sürü davranışları temel alınarak geliştirilen, bu nedenle, sezgisel optimizasyon algoritması olan PSO, arama uzayında rastgele hareket eden parçacıklar ile ilgilenmektedir.

3.1. Kaotik Parçacık Sürü Optimizasyonu (Chaotic Particle Swarm Optimization)

Sezgisel optimizasyon algoritmaları rastgele değişkenler kullanırlar. Bu rastgele değişkenlerin yerine kaotik haritalardan yararlanarak tekrar etmeyen değişkenler elde edilebilir. Bu çalışmada kullanılan Chebyshev haritası Eş. 15'te verilmiştir:

$$X_{k+1} = \cos(k \cos^{-1}(X_k)) \quad (15)$$

Bu denklemde k iterasyon sayısını göstermekte olup X_k ise k. iterasyondaki değeri vermektedir. PSO algoritmasının geliştirilmiş bu hali Kaotik Parçacık Sürü Optimizasyonu (CPSO) olarak adlandırılmıştır.

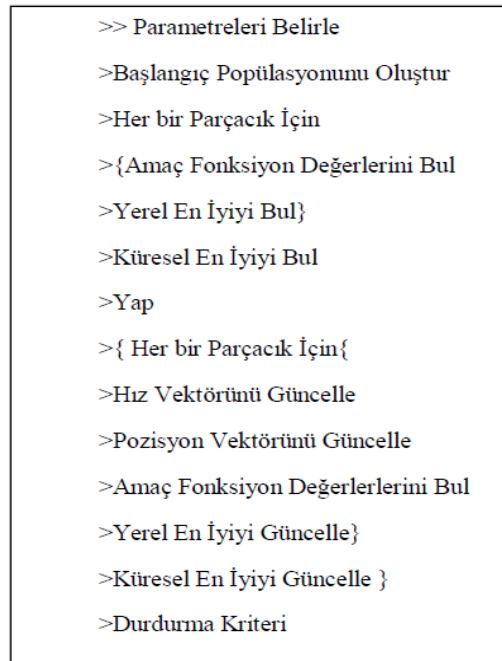
3.2. CPSO Algoritmasının EYD Problemine Uygulanması (Appication of CPSO to ELD Problem)

PSO, kuş sürülerinin davranışlarından ilham alınarak geliştirilmiş sezgisel bir algoritmadır (Kennedy ve Eberhart, 1995). PSO'da her bir parçacık, 2 parçacığa göre güncellenir. Bunlar, en iyi uygunluğa sahip olan parçacık (p_{best}) ve o ana kadar elde edilen tüm parçacıklar arasında en iyi uygunluğa sahip olan parçacıktır (g_{best}). PSO'da her bir iterasyonda hız vektörü ($v_{ij,t}$) güncellenir. Bu güncellemeye göre parçacıkların pozisyonlarındaki ($p_{ij,t}$) gerekli değişimler belirlenerek, parçacıkların bir sonraki pozisyonları ($p_{ij,t+1}$) belirlenir. Bu güncellemeler matematiksel olarak Eş. 16 ve Eş.17'de gösterilmiştir.

$$v_{ij,t+1} = wv_{ij,t} + c_1rand_1(pbest_{ij,t} - p_{ij,t}) + c_2rand_2(gbest_{ij,t} - p_{ij,t}) \quad (16)$$

$$p_{ij,t+1} = p_{ij,t} + v_{ij,t+1} \quad (17)$$

Burada, t iterasyon sayısını, i parçacık sayısını, c_1 ve c_2 kullanıcı tanımlı rastgele öğrenme faktörü katsayılarını, w eylemsizlik ağırlık katsayısını, $rand_1$ ve $rand_2$ ise (0-1) aralığında seçilen rastgele katsayıları temsil etmektedir. Önerilen bu çalışma için rastgele katsayılar kaotik haritadan elde edilmiştir. Burada daha büyük bir w katsayısı, küresel keşfi kolaylaştırırken, daha küçük bir w katsayısı yerel keşif yapılmasını sağlar. PSO için akış diyagramı aşağıdaki gösterilmiştir (Karaboğa, 2017).



Şekil 2. PSO akış diyagramı (Flowchart of PSO)

PSO ile EYD probleminin çözümünde ilk adımda, maksimum iterasyon sayısı ($iter_{max}$), öğrenme faktörleri (c_1 ve c_2), popülasyon büyüklüğü (N_P) ve eylemsizlik ağırlığı (w) değerleri girilir. Sonrasında, termik santrallerin güç limitleri, talep yük (P_d) ve hat kayıpları için katsayı matrisi (B_{ij}) ve vektörü (B_{oi}) girilir. Üçüncü adımda, limitler dâhilinde başlangıç popülasyonları (p_{ij}) rastgele oluşturulur. Her bir iterasyon için, maksimum iterasyona kadar, Eş. 1, 2, 3 ve 11 eşitlikleri hesaplanır.

3.3. EYD İçin Analizleri Gerçekleştirilen Güç Sistemi Ve CPSO Bilgileri (Power System Analyzed For ELD And CPSO Informations)

EYD için 6 üretim ünitesinden oluşan ve toplam 900 MW talep gücü olan bir güç sistemi dikkate alınmıştır. Bu sistem için iletim hattı kayıplarının dahil edilmediği ve dahil edildiği iki farklı durum analiz edilmiştir. Bu güç sistemi için a, b ve c maliyet katsayıları ile üretim ünitelerine ait minimum ve maksimum güç değerleri (Soni vd., 2020, Sulaiman vd., 2019) Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Güç sistemine ait parametreler (Parameters of the power system)

a_i (\$/MW)	b_i (\$/MW)	c_i (\$)	P_{min}	P_{max}
0.15247	38.53973	756.79886	10	125
0.10587	46.15916	451.32513	10	150
0.02803	40.39655	1049.32513	40	250
0.03546	38.30553	1243.5311	35	210
0.02111	36.32782	1658.5696	130	325
0.01799	38.27041	1356.6592	125	315

Bu güç sistemine ait iletim hattı kayıp parametreleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 2. İletim hattı kayıp parametreleri (Transmission line loss parameters)

B=10 ⁻⁴ *	0.14	0.17	0.15	0.19	0.26	0.22
	0.17	0.6	0.13	0.16	0.15	0.2
	0.15	0.13	0.65	0.17	0.24	0.19
	0.19	0.16	0.17	0.71	0.3	0.25
	0.26	0.15	0.24	0.3	0.69	0.32
	0.22	0.2	0.19	0.25	0.32	0.85

Dikkate alınan güç sisteminin analizlerinin gerçekleştirilmesinde CPSO algoritması kullanılmıştır. CPSO için iterasyon sayısı 5000 ve popülasyon sayısı 100 olarak seçilmiştir. Ayrıca, pozisyon güncellemeleri için $c_1 = c_2 = 2$ olarak alınmıştır.

4.2. 6 Üniteli Güç Sistemi için EYD Analizi (ELD Analysis for 6 Unit Power System)

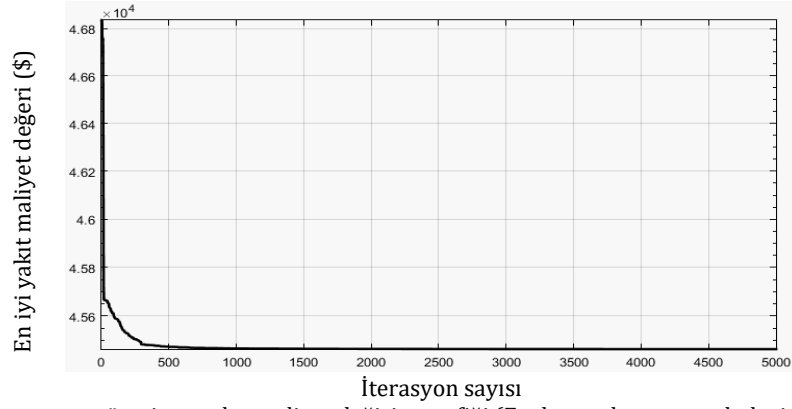
Bu çalışmada toplam güç talebi 900MW olan 6 üretim ünitesinden oluşan bir güç sistemi seçilmiştir. Eş. 17’deki EYD hedef fonksiyonun minimum değeri alması için çalışılmıştır. Burada, D sistemden talep edilen enerjidir.

$$\sum_{i=1}^N F_i(P_i) + 1000 * abs \left(\sum_{i=1}^N P_i - D - P_{Loss} \right) \quad (17)$$

4.2.1. İletim Hattı Kayıplarının İhmal Edildiği 6 Üniteli Güç Sisteminin EYD Analizi (EYD Analysis Of A 6-Unit Power System Where Transmission Line Losses Are Neglected)

Bu bölümde iletim hattı kayıplarının ihmal edildiği 6 üretim ünitesinden oluşan bir güç sisteminin EYD analiz PSO ile gerçekleştirilmiştir. Bu sistemde iletim hattı kayıpları dikkate alınmadığından dolayı Eş.17’deki denklemde $P_{Loss}=0$ olarak alınmıştır.

PSO ile belirlenen toplam yakıt maliyet değerlerine ait değişim grafiği aşağıdaki şekilde verilmiştir. Bu şekilde her bir iterasyon sonucunda bulunan toplam yakıt maliyet değerleri gösterilmiştir.



Şekil 3. İterasyon süresince yakıt maliyet değışim grafiği (Fuel cost change graph during iteration)

Üretim ünitelerine ait CPSO ile elde edilen güç değeri Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. CPSO ile elde edilen güç değeri (Power values obtained with PSO)

Birimler	$P_{i,min}$	P_i	$P_{i,max}$
P1	10	32.5659	125
P2	10	10.4685	150
P3	40	143.8019	250
P4	35	143.2717	210
P5	130	286.4427	325
P6	125	283.4493	315

CPSO ile elde edilen optimal sonuçlar, (Çetin ve Daldaban, 2012)'deki sonuçlarla karşılaştırılmış ve Tablo 4'te sunulmuştur.

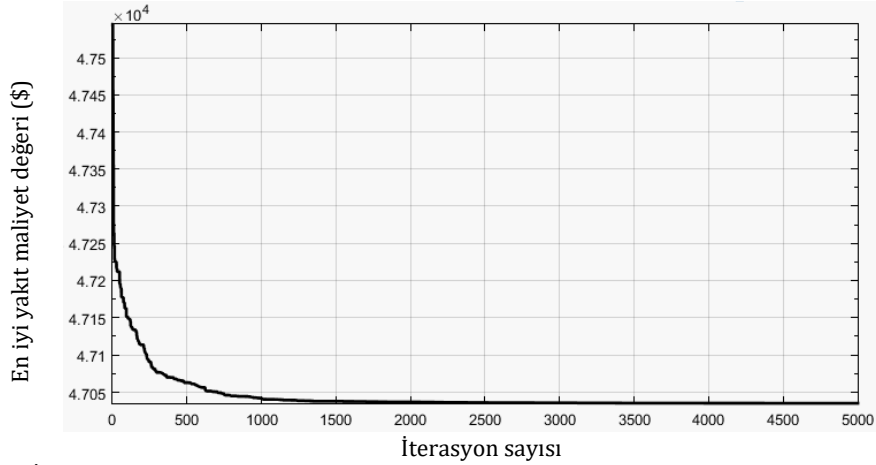
Tablo 4. CPSO ile bulunan sonuçların YAK (Çetin ve Daldaban, 2012) ve DGO (Çetin ve Daldaban, 2012) ile karşılaştırılması (Comparison of results of PSO with ABC (Çetin ve Daldaban, 2012) and DEO (Çetin ve Daldaban, 2012))

MW	CPSO	YAK	DGO
P1	32,5659	32,497	32,976
P2	10,4685	10,816	13,572
P3	143,8019	143,661	137,717
P4	143,2717	143,033	139,849
P5	286,4427	287,101	282,159
P6	283,4493	282,892	293,727
Ploss	0	0	0
F(\$/saat)	45463,5229	45464,157	45468,299

CPSO ile toplam yakıt maliyet değeri 45463.5229 \$ olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlardan, PSO ile YAK ve DGO'dan daha düşük yakıt maliyet değerine ulaşıldığı açıkça görülmektedir.

4.2.2. İletim Hattı Kayıplarının Dikkate Alındığı 6 Üniteli Güç Sisteminin EYD Analizi (EYD Analysis Of 6-Unit Power System Considering Transmission Line Losses)

Bu bölümde iletim hattı kayıplarının dahil edildiği 6 üretim ünitesinden oluşan bir güç sisteminin EYD analiz CPSO ile gerçekleştirilmiştir. Her iterasyon sonucunda CPSO ile bulunan toplam yakıt maliyetinin değışimi Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4. İterasyon süresince yakıt maliyet değişim grafiği (Fuel cost change graph during iteration)

CPSO ile belirlenen her bir üretim birimine düşen üretim değerleri Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. CPSO ile elde edilen güç değerleri (Power values obtained with PSO)

Birimler	P _{i,min}	P _i	P _{i,max}
P1	10	38.3736	125
P2	10	20.8037	150
P3	40	163.7952	250
P4	35	153.1459	210
P5	130	283.6215	325
P6	125	272.0162	315

CPSO ile elde edilen optimal sonuçlar, (Çetin ve Daldaban, 2012)'deki sonuçlarla Tablo 6'da karşılaştırılmalı olarak sunulmuştur.

Tablo 6. CPSO ile bulunan sonuçların YAK (Çetin ve Daldaban, 2012) ve DGO (Çetin ve Daldaban, 2012) ile karşılaştırılması (Comparison of results of PSO with ABC (Çetin ve Daldaban, 2012) and DEO (Çetin ve Daldaban, 2012))

MW	CPSO	YAK	DGO
P1	38,3736	38,368	38,368
P2	20,8037	20,968	20,968
P3	163,7952	163,565	163,564
P4	153,1459	152,937	152,937
P5	283,6215	283,698	283,698
P6	272,0162	272,223	272,224
P _{Loss}	31,7561	31,759	31,759
F(\$/saat)	47035,2799	47035,935	47035,271

CPSO ile toplam yakıt maliyet değeri 47035,2799 \$ olarak bulunmuşken, YAK ile 47035,935 \$ ve DGO ile 47035,271 \$ olarak bulunmuştur. Hat kayıpları PSO ile 31,7561 MW bulunurken diğer iki algoritmada 31,759 MW olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlardan CPSO'nun YAK'tan daha düşük değerde maliyetle ve DGO'dan ise daha az hat kaybı ile daha iyi sonuçlar verdiği açıkça görülmektedir.

6. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

EYD problemi, iletim hattı kayıplarının dahil edilmediği ve dahil edildiği iki farklı durum için CPSO yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Birim maliyeti yüksek olan jeneratörlerin ürettiği güç indirilirken, birim maliyetleri düşük olan jeneratörlerin ürettiği güç artırılmıştır. Böylelikle, toplam maliyet en aza indirilmiştir. CPSO'nun ekonomik yük dağıtım problemlerine kolayca uygulanabileceği gösterilmiştir. CPSO metodunun daha az parametreden oluşması ve çalışma yapısının daha kolay olması diğer optimizasyon yöntemlerine göre avantajdır. E. Çetin'in (Çetin ve Daldaban, 2012), yüksek lisans tezindeki veriler kullanılarak, 6 jeneratörlü sistemin doğruluğu ortaya konmuştur. Bulunan sonuçlar 10 kez çalıştırılıp ortalaması alınarak elde edilmiştir. Literatürle uyumlu

bulunan sonuçlar, CPSO'nun EYD probleminin çözümü için geçerli bir algoritma olduğunu göstermektedir. Sonraki çalışmalarda, CPSO geliştirilerek dinamik EYD problemlerine uygulanması hedeflenmektedir.

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, Ö.P., 2015. Güç Sistemlerinin Ekonomik ve Çevresel Ekonomik Yük Dağıtımında Yeni Optimizasyon Tekniklerinin Kullanımı. Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, Türkiye.
- Çetin, E., Daldaban, F., 2012. Rüzgâr Enerjisi Dâhil Olan Güç Sistemlerinde Ekonomik Yük Dağıtım Probleminin Çözümü. Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Türkiye.
- Döşoğlu, M. K., Duman, S., Öztürk, A., 2009. Genetik Algoritma Kullanarak Ekonomik Dağıtım Analizi: Türkiye Uygulaması. Politeknik Dergisi, 12(3), 167-172.
- Eminoğlu, U., Karahan, O., 2017. Metasezgisel Metotlar Kullanılarak Ekonomik Yük Dağıtım Probleminin Çözümü: Grafiksel Kullanıcı Arayüzü Uygulaması. Politeknik Dergisi, 20(4), 827-835.
- Gaing Z.L., 2003. Particle Swarm Optimization to Solving the Economic Dispatch Considering the Generator Constraints," IEEE Transactions On Power Systems, 18(3), 1187-1195.
- Hardiansyah, H., J., Juanidi, M.S. Yohannes, 2012. Solving Economic Load Dispatch Problem Using Particle Swarm Optimization Technique," IJ. Intelligent Systems And Applications, 12, 12-18.
- Karaboğa, D., 2017. Yapay Zeka Optimizasyon Algoritmaları. Nobel Akademi Yayıncılık.
- Kennedy, J., Eberhart, R.C., 1995. Particle Swarm Optimization," International Conference on Neural Networks, 1942-1948.
- Khamsawang, S., Jiriwibhakorn, S., 2009. Solving the Economic Dispatch Problem Using Novel Particle Swarm Optimization. International Journal Of Electrical, Computer, And Systems Engineering, 3, 41-46.
- Özsağlam, M.Y., Çunkaş, M., 2008. Optimizasyon Problemlerinin Çözümü İçin Parçacık Sürü Optimizasyonu Algoritması. Politeknik Dergisi, 11(4), 299-305.
- Özyön, S., Yaşar, C., Temurtaş, H., 2011. Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritmasının Termik Birimlerden Oluşan Çevresel Ekonomik Güç Dağıtım Problemlerine Uygulanması. 6th International Advanced Technologies Symposium, 175-180.
- Saadat, H., 1999. Power System Analysis. New York:McGraw-Hill.
- Soni, A., Mishra, H., Koli, V.K., Loşi, R., 2020. Economic Load Dispatch Using Artificial Bee Colony Optimization. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), 7(9), 733-737.
- Sulaiman, M., Masihullah, Hussain, Z., Ahmad, S., Mashwani, W.K., Jan, M.A., Khanum, R.A., 2019. Implementation Of Improved Grasshopper Optimization Algorithm To Solve Economic Load Dispatch Problems, Hacettepe Journal of Mathematics & Statistics, 48(5), 1570-1579.
- Turgut, M. S., G. K. Demir, 2017. Ekonomik Yük Dağıtım Probleminin Yapay İşbirlikçi Algoritması İle Çözümü. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen Ve Mühendislik Dergisi, 19(55), 16-27.
- Wood, A. J., Wollenberg, B. F., Sheblé, G. B., 2013. Power Generation, Operation, and Control. John Wiley & Sons.



A COMPARATIVE STUDY OF CONVENTIONAL AND GREEN EXTRACTION METHODS ON OIL YIELD AND PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF APRICOT KERNEL

Muhammed Mustafa ÖZÇELİK*, Erdoğan KÜÇÜKÖNER

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

Keywords

*Prunus Armeniaca L.,
Apricot Kernel Oil,
Green Extraction,
Waste Assessment,
Ultrasound and
Microwave Assisted
Extraction.*

Abstract

Apricot kernel is a byproduct of fruit processing that is used for nuts but has a high economic value due to its high oil content. The aim of this research was to compare the green extraction techniques microwave-assisted extraction (MAE) and ultrasound-assisted extraction (UAE) with the traditional Soxhlet extraction method (SXHE). Time (min), amplitude (%), and temperature (°C) in the UAE method, power (W) and, time (min) in the MAE method, and time (min) in the SXHE method were used as oil extraction process parameters. The time required to achieve the oil yield similar to SXHE (43.65%) is 79% and 83% less in UAE and MAE methods, respectively. Extraction methods are ranked as UAE>MAE>SXHE when they are compared in terms of low free fatty acid (FFA), peroxide value (PV), and Delta-K, high antioxidant activity and total phenolic content (TPC), fatty acid composition, and accelerated shelf-life test (up to 20 days). However, after the 20th day of the shelf-life test, this ranking changes as UAE>SXHE>MAE. The UAE method had better results than MAE and SXHE methods due to same oil yield and higher functional oil content, especially at low extraction temperatures, and should be recommended for oil extraction from different kernels in the food industry.

KAYISI ÇEKİRDEĞİNİN YAĞ VERİMİ VE FİZİKOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ ÜZERİNDE GELENEKSEL VE YEŞİL EKSTRAKSİYON YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI İNCELENMESİ

Anahtar Kelimeler

*Prunus Armeniaca L.,
Kayısı Çekirdeği Yağı,
Yeşil Ekstraksiyon,
Atık Değerlendirme,
Ultrason ve Mikrodalga
Destekli Ekstraksiyon.*

Öz

Kayısı çekirdeği, kuruyemiş olarak tüketilen ancak yüksek yağ içeriği nedeniyle ekonomik değeri yüksek olan bir meyve işleme yan ürünüdür. Bu araştırmanın amacı kayısı çekirdeklerinden yağ eldesinde, yeşil ekstraksiyon teknikleri olan mikrodalga destekli ekstraksiyon (MDE) ve ultrason destekli ekstraksiyon (UDE) ile geleneksel Soxhlet ekstraksiyon yönteminin (SXHE) karşılaştırılmasıdır. Yağ ekstraksiyonu proses parametreleri olarak UDE yönteminde zaman (dak), genlik (%) ve sıcaklık (°C), MDE yönteminde güç (W) ve zaman (dak), SXHE yönteminde ise zaman (dak) kullanılmıştır. SXHE ile aynı yağ verimini (%43.65) elde etmek için gereken süre, UDE ve MDE yöntemlerinde sırasıyla %79 ve %83 oranında daha kısadır. Ekstraksiyon yöntemleri, düşük FFA, PV ve Delta-K, yüksek antioksidan aktivite ve TPC, yağ asidi kompozisyonu ve hızlandırılmış raf ömrü testi (20. güne kadar) bakımından kıyaslandığında UDE>MDE>SXHE olarak sıralanmaktadır. Ancak raf ömrü testinin 20. günden sonra bu sıralama UDE>SXHE>MDE şeklinde değişmektedir. UDE yöntemi, özellikle düşük ekstraksiyon sıcaklıklarında daha yüksek yağ verimi ve daha yüksek fonksiyonel yağ içeriği nedeniyle MDE ve SXHE yöntemlerinden daha iyi sonuçlar vermiştir ve gıda endüstrisinde farklı çekirdeklerden yağ ekstraksiyonu için tavsiye edilmektedir.

Alıntı / Cite

Ozcelik, M.M., Küçüköner, E. 2023. A Comparative Study of Conventional and Green Extraction Methods on Oil Yield and Physicochemical Properties of Apricot Kernel. Journal of Engineering Sciences and Design, 11(3), 966-975.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

M.M. Özçelik, 0000-0002-1933-1737
E. Küçüköner, 0000-0001-9259-4800

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	02.03.2023
Revizyon Tarihi / Revision Date	30.04.2023
Kabul Tarihi / Accepted Date	16.05.2023
Yayın Tarihi / Published Date	28.09.2023

* İlgili yazar / Corresponding author: ozcelik.m.mustafa@gmail.com, +90-541 910 2908

A COMPARATIVE STUDY OF CONVENTIONAL AND GREEN EXTRACTION METHODS ON OIL YIELD AND PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF APRICOT KERNEL

Muhammed Mustafa ÖZÇELİK†, Erdoğan KÜÇÜKÖNER
Suleyman Demirel University, Faculty of Engineering, Department of Food Engineering, Isparta, Türkiye

Highlights

- Apricot kernel is a valuable by-product with high oil content.
- Extraction method impacts apricot kernel oil's properties (fatty acids, antioxidants, phenolic compounds).
- UAE and MAE, as green alternatives, can effectively replace SXHE for fruit seed oil extraction.

Purpose and Scope

The primary goal of this study is to achieve maximal oil yield within a minimal timeframe from apricot kernels, a byproduct of fruit processing known for its valuable oil content. This research aims to conduct a comparative assessment of oil quality, comparing conventional Soxhlet extraction against green extraction techniques such as microwave-assisted extraction and ultrasound-assisted extraction.

Design/methodology/approach

In the present study, the oil yield obtained in Soxhlet extraction was taken as a criterion, and alternative green techniques (ultrasound and microwave) to this traditional method were investigated. Ultrasound-assisted extraction utilized an ultrasonic probe, while microwave extraction involved a modified oven equipped with a precise electronic temperature control panel. Furthermore, total phenolic content and capacity for free radical scavenging were investigated. Statistical analysis was performed to evaluate the results of these analyses.

Findings

Recently, non-thermal extraction methods or treatments involving minimal heat exposure have gained significant attention. Within the confines of this research, apricot kernel oil, much like other valuable oils containing elevated levels of unsaturated fatty acids, exhibits susceptibility to heat. The study reveals that the application of green extraction techniques to procure apricot kernel oil has yielded commendable outcomes. When the findings of the analyzes used in the study were evaluated, it was determined that the oil obtained with the ultrasonic extraction technique was the highest quality, followed by the oils obtained by microwave and Soxhlet, respectively. According to the current study, there was a statistical difference in peroxide value in oils extracted by different methods, while the content of free fatty acids was found to be quite close in oils produced by Soxhlet and ultrasonic extraction, but higher in oils obtained by microwave extraction ($p \leq 0.05$).

Practical implications

The outcomes distinctly establish the ultrasonic extraction technique as capable of delivering superior-quality vegetable oils in less time compared to alternative extraction procedures. Consequently, it is recommended that the ultrasonic extraction technique be further developed in alignment with industrial practices and implemented in oil extraction processes. Furthermore, the conversion of oilseed-derived oil into diverse products across the cosmetics, pharmaceutical, and food sectors, destined for both domestic and international markets, promises heightened economic benefits.

Originality

Reviewing both domestic and international literature to this investigation, it becomes evident that the national literature lacks studies exploring the application of environmentally conscious extraction methods for apricot kernel oil and the subsequent impacts of varying techniques on the resultant oil. Although the international literature presents a limited number of relevant studies, none have undertaken a comparative analysis between Soxhlet, ultrasound-assisted, and microwave-assisted extraction methods. Also, the chosen "Hacıhaliloğlu" apricot variety, the most extensively processed apricot strain for drying process in Turkey, which consequently highest quantity of apricot kernels. This variety has been selected as the subject material to uncover the extraction conditions, oil yield, and associated properties.

† Corresponding author: ozcelik.m.mustafa@gmail.com, +90-541 910 2908

1. Introduction

Apricot fruit (*Prunus armeniaca* L.) is a member of the Rosaceae family and is of the *Prunus* species (Davis, 1975; Güner et al., 1999). Turkey, Iran, Uzbekistan, Italy, Algeria, France, and Spain are the main apricot producers. Annual world fresh apricot production is 3.5-4 million tons, and the dried apricot production is 150-200 thousand tons. Turkey is the world leader in fresh apricot production with an annual production of 500-800 thousand tons. Most of the production in Turkey is from Malatya region and the most important dried apricot variety in the region is Hacıhaliloğlu (Anonymous, 2015; Gezer et al., 2009). Apricot kernel consists of about 15% of the fruit and is a valuable by-product. Apricot kernels are usually separated from the fruits during the production process, especially before drying. Kernels removed from fruit are consumed directly as an important source of oil, protein, and fiber and are used as a flavor in bakery products and as a flavor instead of dry almonds (Tareen et al., 2021).

Apricot kernel consists of 15-20% protein, 4-5% cellulose, and 45-52% oil. The oil consists of 8.27% saturated fatty acids and 91.73% unsaturated fatty acids of the total fatty acid content (Açkurt, 1998). These fatty acids are mostly oleic acid and linoleic acid. Oleic acid content is approximately 58-73%, and linoleic acid content is approximately 19-32%. In addition, seed oil contains considerable amounts of γ -tocopherol as well as α - and β -tocopherol but at limited levels (Durmaz, 2002; Górnas et al., 2019; Pavlović et al., 2018; Stryjecka et al., 2019; Bhangar et al., 2020). Besides, it has been reported that fat-soluble vitamins and minerals are high in this oil source (Yılmaz, 2010; Shariatifar et al., 2017).

Recent research indicates that apricot kernel oil is a potential oil source for both dietary and cosmetic industries due to its health beneficial fatty acid composition and biologically active components (Stryjecka et al., 2019; Bhangar et al., 2020). According to the research, apricot kernels have higher antibacterial and antioxidant activity than fruit pulp (Tareen et al., 2021). Another study found that apricot kernel oil has a cardioprotective effect and could be evaluated as a food ingredient to help preventing myocardial diseases (Zhang et al., 2011). In addition to lowering blood pressure, apricot kernels can also help treating diseases such as cancer and cancer immunotherapy. Almond oil, benzaldehyde, furfuryl alcohol, activated carbon, aroma essence, amygdalin (vitamin B17), and hydrocyanic acid are made from apricot kernels (Ünal, 2010). Although apricot kernels are generally consumed as snacks, they can also be used in the production of low-fat biscuits, cookies, and cakes, as well as antimicrobial films, especially in the food industry (Akhone et al., 2022).

To extract oils from oilseeds there are different methods such as cold pressing, solvent extraction, supercritical fluid extraction, enzyme-assisted extraction, or a combination of these methods (Bhangar et al., 2020). In a study, it was discovered that ultrasound and microwave-assisted oil extraction methods had a positive effect on oil quality extracted from rapeseed and black cumin seed (Şeran, 2011). In another study comparing microwave-assisted extraction and the traditional Soxhlet method for obtaining high-efficiency oil from hazelnut, soybean, and rice bran, it was discovered that microwave-assisted extraction can be effective in terms of oil yield with a shorter time at lower temperature levels (Tunç et al., 2014). When studying oil extraction from apricot kernels, the following methods have been investigated: supercritical CO₂ extraction (Özkal et al., 2005; Pavlović et al., 2018), ultrasonication (Górnas et al., 2019); (Hao et al., 2022) Soxhlet extraction (Al Juhaimi et al., 2018; Shariatifar et al., 2017; Stryjecka et al., 2019)), cold pressing (Hao et al., 2022). Numerous studies have been published on the chemical analysis of apricots and their seeds, their nutritional value, and their medicinal use (Akhone et al., 2022). However, few studies on high-efficiency oil extraction from apricot kernels have been found. Green extraction techniques such as MAE and UAE extraction have not been compared in any study focusing on oil extraction from apricot kernels.

In this study, the seed oil of Hacıhaliloğlu cultivar, which is the most widely processed apricot variety in Turkey, was extracted using MAE and UAE methods and the extraction yields were compared with the SXHE method. In addition, it is aimed to determine the extraction parameters (time, power, and temperature effects) for the highest yield. Then, the shelf life and deterioration rates of the obtained oils were determined. It is thought that the results obtained from this research will guide the extraction and preservation of other seed oils.

2. Material and Method

2.1. Material

To achieve kernels, "Hacıhaliloğlu" variety of apricot fruit was obtained from apricot gardens in the Kuluşağı village of Malatya province.

2.2. Method

Apricot kernels were removed from the fruit and dried in the drying oven until they reached up to 10% moisture content. The drying process is critical for more effectively removing the oil from the kernel and standardizing the prepared samples. The kernels were crushed-shredded and sized to increase the surface area in order to perform mass transfer more effectively during the extraction process. The crushed kernels were sieved and classified as larger than 1mm and smaller than 2mm. The extracted oils were kept at -20 °C until they were analyzed. The appropriate circumstances were set in the vegetable oil analysis laboratory of Suleyman Demirel University Faculty of Engineering to identify the physicochemical and chemical properties of the produced oils, and the analyses were carried out here.

2.2.1. Extraction

Apricot kernel oil was produced using different extraction techniques. For a reference, the traditional solid-liquid extraction method, SXHE was performed. For extraction, filter paper cartridges were prepared, dried, and crushed-sized apricot kernels weighed 11.50 g. The preliminary experiments revealed that using a solid / solvent ratio of 1:20 (g/ml) was suitable for efficient extraction. The cartridge was placed in the Soxhlet apparatus, and 230 ml of hexane was added at a solvent-solid ratio of 1:20 (g/ml) to the Soxhlet extraction apparatus. Preliminary trials were conducted, and it was determined that an extraction time of 6 hours was appropriate for completed extraction.

2.2.1.1. Ultrasound-Assisted Extraction

Hexane was used as a solvent in. In terms of oil yield and quality requirements, the effects of solid/liquid ratio (1:20 (g/ml)), ultrasonic amplitude (60-100%), and application time (10-75 min) factors were investigated. For ultrasonication, an ultrasonic probe (Comecta Optic Ivymen System Cy-500, Spain) was used.

2.2.1.2. Microwave-Assisted Extraction

MAE extraction is another technique used in this research. In contrast to traditional microwave systems, a modified and designed microwave oven (Arçelik, MD 574, Turkey) was used in this case. The electronic control unit integrated into the device allows monitor solvent temperature level and to control it during operation. Furthermore, the temperature was measured with an accuracy of 1°C every second by directly measuring the temperature of the extraction liquid rather than the surrounding temperature. For this method, the following parameters were used: temperature (30-40°C), duration (10-60 minutes), and solvent-solid ratio (1:20 (g/ml)).

2.2.3. Oil Yield

The yield (%) values of the oils extracted were determined for each extraction procedure. The yield was determined as grams of crude oil / 100 grams of the dry kernel.

2.2.4. Determination of Specific Absorbance Values in UV Light (K232, K270)

The Codex Alimentarius method was used to determine the specific absorbance values in UV light (Anonymous, 2001). 100 mg of oil sample was dissolved in 10 ml of cyclohexane to make a 1% solution. The absorbances of the produced solution were measured spectrophotometrically (T70+UV/VIS spectrophotometer, PG Instruments, UK) at wavelengths of 232, 266, 270, and 274 nm, respectively, to compute the K232 and K270 values. Analyses were run in three parallels. The Delta K value was calculated using Equation (1) below. In general, a low delta K value indicates that the oil is of excellent quality and fresh.

$$\text{Delta } K = K^{270} - \frac{K^{266} + K^{274}}{2} \quad (1)$$

2.2.5. Determination of Free Fatty Acids

Free fatty acids (FFA) are one of the most essential characteristics used in the quality evaluation and classification of oils. To determine the amount of FFA, the Ca 5a-40 standard method was used (AOCS, 1997a). All analyses were performed as three parallels, with findings estimated in terms of % oleic acid.

2.2.6. Determination of Peroxide Value

The Cd 8-53 standard method was used to measure the peroxide value (PV) utilized in the determination of primary oxidation products of oils (AOCS, 2003). The analyses were performed as three parallels and the results were given as the peroxide oxygen in one kilogram of oil in milliequivalent oxygen.

2.2.7. Determination of Total Phenolic Content

Using the Folin-Ciocalteu method, the total phenolic content (TPC) quantities of phenolic substances extracted from the oil three times with a mixture of water: methanol (20:80; v/v) were determined (Singleton ve Rossi, 1965). 40 μ l of the phenolic extract was pipetted into a tube and diluted with 2.40 ml distilled water. Then 200 μ l of Folin-Ciocalteu reagent was mixed in. Then the mixture was added 600 μ l of saturated sodium carbonate solution (38%, w/v). Finally, 760 μ l of distilled water was added and mixed up. After being left in the dark for two hours at room temperature, the absorbance of the sample solutions against the blank solution was measured in a spectrophotometer (T70+UV/VIS spectrophotometer, PG Instruments, UK) at a wavelength of 765 nm.

2.2.8. Free Radical Scavenging Activity Determination (DPPH)

The ability of antioxidant compounds in apricot kernel oil to bind hydrogen was determined using the 2,2-diphenyl-1-picryl-hydrazyl (DPPH) free radical scavenging activity assay (Dorman et al., 2003). 50 μ l of apricot kernel oil extracts with using methanol: water (80:20; v/v) in three times extraction were pipetted into tubes, and 450 μ l Tris-HCl buffer (50mM, pH:7.4) was added. The mixture was then treated with 1 mL of DPPH (0.10mM in methanol) solution and left in the dark for 30 minutes at room temperature. The absorbance of the solution at 517 nm was measured using a spectrophotometer (T70+UV/VIS spectrophotometer, PG Instruments, UK) at the end of the reaction time. As a control, pure water was utilized instead of the extract. The DPPH free radical scavenging activity was calculated using the following Equation (2).

$$\% \text{ Inhibition} = \frac{Abs_{Control} - Abs_{Sample}}{Abs_{Control}} \times 100 \quad (2)$$

2.2.9. Determination of Fatty Acid Composition

Fatty acid composition was determined by gas chromatography (GC) using and flame ionization detector (FID) (Agilent Technologies, 7820A, USA). To determine the fatty acid composition, the oil samples were esterified by Ce 1-62 method (AOCS, 1997b). The fatty acid composition (%) of esters was measured using gas chromatography. The arrival times of the chromatogram peaks were determined first by using reference methyl esters (FAME) and then compared to the sample arrival times. The following sections describe the features and working conditions of the gas chromatography instrument. Column: Restek Rtx-2330 60m x 0.25mm diameter x 0.20 μ m, Flow rate: 30ml/min Hydrogen, 300ml/min dry air, Split 10:1 Column temperature: 240 °C, Injection: 1 μ l, 240 °C, Oven temperature: 175-240°C, Detector temperature: FID, 240 °C.

2.2.10. Accelerated Shelf-life Analysis of Oil (Schaal oven test)

Oxidation reaction accelerated method (Cg 5-97) oven test was used to determine the shelf life of oil samples (AOCS, 1999). According to this method, oil samples were stored in 100 ml dark glass bottles in an airflow drying oven for 30 days at 60 \pm 2°C. The oxidation reaction that took place during the storage was monitored in 5-day periods. Oxidative change in conjugated diene and triene values was determined by peroxide value and spectrophotometric analysis.

2.2.11. Statistical Analyses

The SPSS statistical program was used for a statistical analysis of the received data. Analysis of variance was used to establish the significance of the difference between groups. To determine the difference between groups, the Duncan multiple comparison tests were used.

3. Result and Discussion

The mean values of length, width, thickness, and weight measurements of Hacihaliloğlu apricot kernel samples used in the study were found to be 18.69 \pm 0.11, 10.22 \pm 0.07, 5.59 \pm 0.05, 0.55 \pm 0.07, respectively (n=50). The independent variables of the extraction process and the resultant oil yields were given in Table 1.

Table 1. Extraction process design table. *

Method	Time (min)	Temperature (°C)	Amplitude (%)	Oil Yield (%)
SXHE	240	68	-	23.36 ± 0.99 ^a
	270	68	-	30.60 ± 1.06 ^b
	300	68	-	40.00 ± 0.47 ^c
	360	68	-	43.65 ± 0.84 ^d
MWE	30	30	-	38.09 ± 0.49 ^e
	45	30	-	39.62 ± 0.56 ^f
	60	30	-	42.31 ± 0.46 ^{g,f}
	30	40	-	41.99 ± 0.51 ^{g,f}
	45	40	-	41.25 ± 0.48 ^{f,h}
	60	40	-	43.66 ± 0.20 ^d
USE	60	55	60	39.19 ± 0.90 ^c
	60	55	80	41.85 ± 0.32 ^{g,f,h}
	45	55	100	41.15 ± 0.20 ^h
	60	55	100	42.38 ± 0.10 ^g
	75	55	100	43.73 ± 0.20 ^d

*; Oil yield: g crude oil/100 g dry kernel, MAE; Microwave-assisted extraction, SXHE; Soxhlet extraction, UAE; Ultrasound-assisted extraction, different capital letters in the same column are statistically different from each other ($p \leq 0.05$).

When Table 1 was examined, the amount of oil obtained at the ratio of 20:1 solvent/solid in 6 hours with Soxhlet extraction was found to be 43.65%. This oil yield was achieved with MAE at 40°C in 60 minutes (43.66%), and with UAE at 100% ultrasound power in 75 minutes (43.73%), and the difference between oil yields was statistically insignificant ($p > 0.05$). The oil extraction, which required 6 hours with the traditional extraction method, was achieved in an average of 1 hour using the green extraction techniques. The decrease in extraction time saved both time and energy, increasing production per unit time while decreasing cost.

Peroxide value (PV) is used to express the primary oxidation products formed in the oxidation reactions (Tunç et al., 2014). The PV in oils is a measure of the amount of active oxygen and reflects the milliequivalent grams of peroxide oxygen in 1 kg of oil (Frankel, 2012). The number of free fatty acids (FFA) is one of the analyses used to measure the quality of oils. The amount of FFA is an expression of the total unbound free fatty acids in oils expressed as a percentage of oleic acid (Huber et al., 2017). Table 2 shows the FFA, PV, K232, K270, and Delta K values of apricot kernel oils obtained using SXHE, MAE, and UAE methods.

Table 2. FFA, PV, K232, K270 and Delta K values of apricot kernel oils. *

Extraction Methods	FFA	PV	K ₂₃₂	K ₂₇₀	Delta K
SXHE (360 min)	0.36 ± 0.00 ^a	1.03 ± 0.01 ^a	1,409 ± 0.01 ^a	0,262 ± 0.01 ^a	0.0040 ± 0.00 ^a
MAE (40°C, 60 min)	0.70 ± 0.02 ^b	0.69 ± 0.02 ^b	1,307 ± 0.12 ^b	0,180 ± 0.01 ^b	0.0035 ± 0.00 ^b
UAE (%100 amplitude, 75 min)	0.35 ± 0.01 ^a	0.46 ± 0.02 ^c	1,278 ± 0.13 ^c	0,190 ± 0.01 ^b	0.0030 ± 0.00 ^c

*; PV: meq O₂ /kg, FFA: % oleic acid, different capital letters in the same column are statistically different from each other ($p \leq 0.05$).

According to the results, the oil with the highest peroxide value was obtained using SXHE, compared to MAE, and UAE. Green extraction techniques produce oils with lower peroxide content, and this difference is statistically significant ($p \leq 0.05$). The effects of process factors (temperature, time, and power) on peroxide values are statistically significant ($p \leq 0.05$). Because the application temperature and time in UAE and MAE procedures are significantly lower than in SXHE, oils with reduced peroxide content were achieved. According to Annex-2 of the "Turkish food codex communiqué on oils referred to by plant name" (communiqué no: 2012/29), the FFA and PV of apricot kernel oil are below the prescribed limit values and can be evaluated without refining.

Oil oxidation affects the conjugated diene and triene structures. Secondary oxidation products are compounds generated as a result of this oxidation. Secondary oxidation products absorb UV light at 232 and 272 nm wavelengths. After dissolving the oil in a suitable solvent, its absorbance is measured at wavelengths of 232, 264, 268, and 272 nm. Excessive absorption at these wavelengths indicates high oxidation and poor-quality oil. Table 2 shows the specific absorbance values of K232, K270, and Delta K of apricot kernel oils extracted using three distinct procedures. When the extraction techniques were compared, the oil recovered by UAE had the best values, followed by MAE and SXHE. The various extraction procedures used had a statistically significant influence on the K232 and K270 values of the extracted oils ($p \leq 0.05$). In the Turkish food codex, there are no published standards

for K232, K270, or Delta K values of apricot kernels.

The best quality oils were determined to be those produced by the UAE method and SXHE method, with the amount of free fatty acids of the oils obtained by MAE being substantially different and higher ($p \leq 0.05$). Similar to our findings, it has been reported in the literature that microwave heating enhanced the amount of free fatty acids in sunflower oil, soybean oil, corn oil, and olive oil (Tunç et al., 2014). According to another research, microwave energy causes the ester bonds in vegetable oils, which contain high quantities of polyunsaturated fatty acids, to break and the triglyceride molecules to break down, increasing the quantity of free fatty acids (Yoshida et al., 1992). The percentage of free radical inhibition in the extracted oil, as well as the total quantity of phenolic compounds detected at 765 nm, are given in Table 3.

Table 3. Phenolic compounds and free radical inhibition levels of apricot kernel oils. *

Method	Inhibition %	TPC
SXHE	25.17±0.64 ^a	121.22±0.78 ^a
MAE	27.11±0.45 ^a	149.21±0.96 ^b
UAE	32.04±0.87 ^b	196.81±0.31 ^c

*; TPC: $\mu\text{g GAE/ml Oil}$, different capital letters in the same column are statistically different from each other ($p \leq 0.05$).

According to our findings, it was discovered that the UAE method outperformed the MAE and SXHE methods significantly in terms of the free radical scavenging capacity of the oils ($p \leq 0.05$). At the same time, the total phenolic content of the oils obtained by the UAE method was found to be higher and statistically significant compared to the oils obtained by the MAE and SXHE method ($p \leq 0.05$). When we compare the MAE and SXHE methods among themselves, the total amount of phenolic content in the oils obtained by the MAE method was found to be higher than in the oils obtained by the SXHE method, and the difference is statistically significant ($p \leq 0.05$).

Table 4 shows the fatty acid composition of the oils obtained in the study using three different methods.

Table 4. Fatty acid components of apricot kernel oils (%).

Fatty acid composition	Extraction techniques		
	SXHE	MAE	UAE
Palmitic acid	5.63±0.09 ^a	5.29±0.06 ^b	5.46±0.03 ^a
Palmitoleic acid	0.79±0.04 ^a	1.01±0.10 ^a	0.75±0.04 ^a
Heptadecanoic acid	0.13±0.01 ^a	0.12±0.00 ^a	0.12±0.01 ^a
Stearic acid	1.04±0.06 ^a	1.25±0.02 ^a	1.25±0.07 ^a
Oleic acid	65.44±0.06 ^a	68.15±0.04 ^b	68.25±0.02 ^b
Linoleic acid	24.01±0.16 ^a	23.07±0.02 ^b	24.07±0.01 ^a
Arachidic acid	0.19±0.01 ^a	0.10±0.00 ^b	0.11±0.01 ^b
ΣSFA	6.86±0.04 ^a	6.64±0.04 ^a	6.81±0.09 ^a
ΣMUFA	66.35±0.03 ^a	69.26±0.13 ^b	69.12±0.07 ^b
ΣPUFA	24.01±0.16 ^a	23.07±0.02 ^b	24.07±0.01 ^a

*; ΣSFA ; total saturated fatty acid, ΣMUFA ; total monounsaturated fatty acid, ΣPUFA ; total polyunsaturated fatty acid, different capital letters in the same line are statistically different from each other ($p \leq 0.05$).

Oleic acid (65.44–68.25%) and linoleic acid (23.07–24.07%) are the unsaturated fatty acids that were in the highest concentration in apricot kernel oils extracted using various techniques. Palmitic acid (5.29–5.63%) and stearic acid (1.04–1.25%) were determined to have the greatest levels of saturated fatty acids. The study's data are consistent with previous research (Femenia et al., 1995; Kamel and Kakuda, 1992; Turan et al., 2007; Bhangar et al., 2020). The oils produced with UAE had the highest concentration of essential fatty acids in the apricot kernel oils, followed by those produced with SXHE and MAE, respectively. SXHE contains statistically significantly higher palmitic acid, and arachidic acid than MAE and UAE. The amounts of oleic acid and total polyunsaturated fatty acids were significantly higher in UAE extraction technique and other methods.

The Schaal oven test was used in the study to determine the accelerated shelf life of oils. Oxidative change in conjugated diene and triene values were determined by peroxide value and UV analysis, and the results are shown in Figure 1.

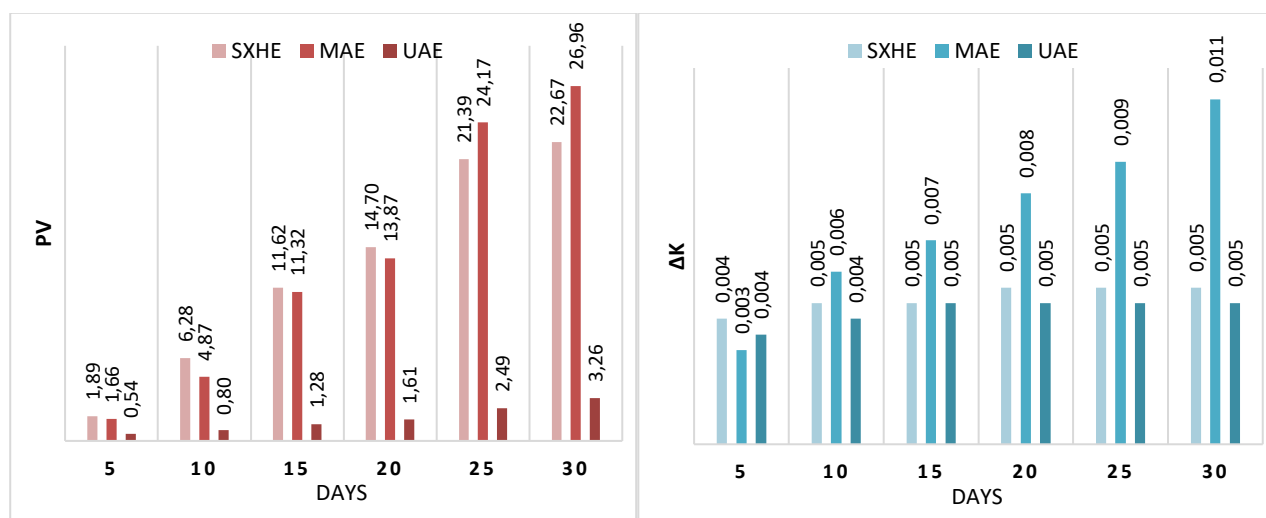


Figure 1. Peroxide (meq O₂/kg) and Δk values in the Schaal oven test.

During the Schaal oven test, the peroxide value of the oils obtained with UAE was much lower than that of the other two methods. The peroxide value of the oils obtained with SXHE was higher than the other two methods during the first 20 days of the test, but on the 25th day and after, the peroxide value of the oils obtained with MAE exceeded those obtained with SXHE and reached the highest level. The effect of the various methods on the peroxide value was discovered to be statistically significant ($p \leq 0.05$). In this context, oils obtained through MAE should be better preserved (in the dark, oxygen-free, and cool) than oils obtained through other methods.

In crude form and on the 5th day of the Schaal oven test, the oil obtained by SXHE had a higher secondary oxidation value than the other two methods, and the statistical difference between them was found to be significant ($p \leq 0.05$). The secondary oxidation values of the oils obtained by SXHE and MAE between 10 and 25 days were close to each other, and the difference was statistically insignificant ($p > 0.05$). The secondary oxidation values of the oils obtained by MAE were higher than the other two methods after the 20th day, and the difference was statistically significant ($p \leq 0.05$). The oils obtained by the UAE method had the lowest secondary oxidation values during the Schaal oven test period.

4. Conclusion

Recently, non-thermal extraction techniques or pretreatments with minimum heat treatment parameters have attracted attention. In this context, the sensitivity of compounds intended for extraction in oils to temperature, which is a factor in conventional solid/liquid extraction procedures, is at the forefront. Within the scope of the study, apricot kernel oil is also heat sensitive, similar to other valuable oils containing high unsaturated fatty acids. In this study, UAE and MAE extraction techniques used to obtain apricot kernel oil were found to be quite successful in terms of offering the same oil yield as SXHE at low temperatures and in a short time. When the findings of the analyzes used in the study were evaluated, it was determined that the oil obtained by the UAE technique was of the highest quality, followed by the oils extracted by MAE and SXHE, respectively. According to the current study, while there was statistical difference in peroxide value in oils extracted with UAE, MAE and SXHE, the content of free fatty acids was found to be quite close in oils prepared with SXHE and UAE, but higher in oils obtained with MAE ($p \leq 0.05$). The results show that the UAE technique can yield higher quality vegetable oils in less time than several alternative extraction processes currently in use.

According to the literature, there is no study comparing UAE and MAE in oil extraction from apricot kernels using solvents. In particular, it is recommended that the UAE technique be developed and applied in the industry. In addition, the oil obtained from its seeds will be industrially transformed into various products in the cosmetics, pharmaceutical, and food sectors and presented to the domestic and foreign markets will provide more economic gain to our country. Given the economic importance of the issue, it is recommended to develop and test the procedure on an industrial scale.

Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

References

- Açkurt, F. 1998. "Sağlıklı Beslenmede Kayısının Önemi ve Yeni Kayısı Ürünleri. 1". Kayısı Surasi Sonuç Raporu, 21-29.
- Akhone, M. A., Bains, A., Tosif, M. M., Chawla, P., Fogarasi, M., Fogarasi, S. 2022. "Apricot kernel: bioactivity, characterization, applications, and health attributes". *Foods*, 11(15), 2184.
- Al Juhaime, F., Özcan, M. M., Ghafoor, K., Babiker, E. E., Hussain, S. 2018. "Comparison of cold-pressing and soxhlet extraction systems for bioactive compounds, antioxidant properties, polyphenols, fatty acids and tocopherols in eight nut oils". *Journal of food science and technology*, 55, 3163-3173.
- Anonymous, 2001. Codex standard for olive oil, virgin and refined, and for refined olive-pomace oil. Codex stan, 8, 25-39. https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252Fstandards%252FCXS%252B234-1999%252FCXS_234e.pdf (Erişim Tarihi: 12.02.2023).
- Anonymous, 2015. FAO statistical database, <http://apps.fao.org/page/collections?subset=agriculture> (Erişim Tarihi: 12.04.2015).
- AOCS, 1997a. AOCS (*Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists' Society*). American Oil Chemists' Society, Champaign, 5th ed. Methods Ca 5a-40.
- AOCS 1997b. AOCS (*Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists' Society*). Fatty acid composition by gas chromatography, Method, Ce 1-62.
- AOCS, 1999. AOCS (*Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists' Society*). 5th ed. Method Cg 5-97.
- AOCS, 2003. Peroxide Value, Acetic Acid- Chloroform Method, AOCS Official Method, Cd 8-53.
- Bhanger, M. I., Anwar, F., Memon, N., Qadir, R. 2020. "Cold pressed apricot (*Prunus armeniaca* L.) kernel oil". *Cold pressed oils* (ss. 725-730). Elsevier.
- Caponio, F., Pasqualone, A. and Gomes, T. (2003), Changes in the fatty acid composition of vegetable oils in model doughs submitted to conventional or microwave heating. *International Journal of Food Science & Technology*, 38: 481-486. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2621.2003.00703.x>
- Davis, P. H. 1975. "Flora Of Turkey And The East Aegean Islands, Vol. 5, Edinburgh Univ". Pres, Edinburgh.
- Dorman, H. J. D., Peltoketo, A., Hiltunen, R., Tikkanen, M. J. 2003. "Characterisation of the antioxidant properties of de-odourised aqueous extracts from selected Lamiaceae herbs". *Food chemistry*, 83(2), 255-262.
- Durmaz, G. 2002. Kayısı Meyvesinin ve Kavrulmuş Kayısı Çekirdeğinin Antioksidan Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi, Malatya.
- Femenia, A., Rossello, C., Mulet, A., Canellas, J. 1995. "Chemical composition of bitter and sweet apricot kernels". *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 43(2), 356-361.
- Frankel, E. N. 2012. "Chapter 9 - Antioxidants". İçinde E. N. Frankel (Ed.), *Lipid Oxidation (Second Edition)* (ss. 209-258). Woodhead Publishing.
- Gezer, İ., Pektekin, T., Aygül, H., Polat, İ. 2009. "Malatya Kayısı Raporu". B İlg Yolu Eğ tm, Kültür ve Sosyal Araştırmalar Merkez Yayınları, Malatya.
- Górnaś, P., Picron, J., Perkons, I., Mišina, I., Rudzińska, M., Sobieszcańska, N., ... Patel, K. S. 2019. "Profiling of the beneficial and potentially harmful components of *Trichodesma indicum* seed and seed oil obtained by ultrasound-assisted extraction". *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 96(3), 249-259.
- Güner, M., Vatandaş, M., Dursun, E. 1999. "Bazı kayısı çeşitlerinde çekirdek kırılma karakteristiklerinin belirlenmesi". *Journal of Agricultural Sciences*, 5(01), 95-103.
- Hao, G., Lin, S., Jiang, Y., Cao, W., Liu, Y., Chen, Z. 2022. "Enhancing processed quality of roasted eel with ultrasound treatment: Effect on texture, taste, and flavor". *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(7), e16641.
- Huber AH, Kleinfeld AM. Unbound free fatty acid profiles in human plasma and the unexpected absence of unbound palmitoleate. *J Lipid Res*. 2017 Mar;58(3):578-585. doi: 10.1194/jlr.M074260.
- amel, B. S., Kakuda, Y. 1992. "Characterization of the seed oil and meal from apricot, cherry, nectarine, peach and plum". *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 69, 492-494.
- Özkal, S. G., Yener, M. E., Bayındırlı, L. 2005. "Mass transfer modeling of apricot kernel oil extraction with supercritical carbon dioxide". *The Journal of supercritical fluids*, 35(2), 119-127.
- Pavlović, N., Vidović, S., Vladić, J., Popović, L., Moslavac, T., Jakobović, S., Jokić, S. 2018. "Recovery of tocopherols, amygdalin, and fatty acids from apricot kernel oil: Cold pressing versus supercritical carbon dioxide". *European Journal of Lipid Science and Technology*, 120(11), 1800043.
- Shariatifar, N., Pourfard, I. M., Khaniki, G. J., Nabizadeh, R., Akbarzadeh, A., Nejad, A. S. M. 2017. "Mineral Composition, Physico-chemical Properties and Fatty Acids Profile of *Prunus armeniaca* Apricot Seed Oil.". *Asian Journal of Chemistry*, 29(9).
- Singleton, V. L., Rossi, J. A. 1965. "Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents". *American journal of Enology and Viticulture*, 16(3), 144-158.
- Stryjecka, M., Kiełtyka-Dadasiewicz, A., Michalak, M., Rachoń, L., Głowacka, A. 2019. "Chemical composition and antioxidant properties of oils from the seeds of five apricot (*Prunus armeniaca* L.) cultivars". *Journal of oleo science*, 68(8), 729-738.
- Şeran, E.B. 2011. Yağlı Tohumlara Uygulanan Ultrasonik Destekli Ön İşlem ile Soğuk Pres Yağlarında Verim ve Kalitenin Arttırılması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği A.B.D.
- Tareen, A. K., Panezai, M. A., Sajjad, A., Achakzai, J. K., Kakar, A. M., Khan, N. Y. 2021. "Comparative analysis of antioxidant activity, toxicity, and mineral composition of kernel and pomace of apricot (*Prunus armeniaca* L.) grown in Balochistan, Pakistan". *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(5), 2830-2839.
- Tunç, İ. , Çalışkan, F. , Özkan, G. & Karacabey, E. (2014). Mikrodalga Destekli Soxhlet Cihazı ile Fındık Yağı Ekstraksiyonunun Yanıt Yüzey Yöntemi ile Optimizasyonu . *Akademik Gıda*, 12 (1) , 20-28 . <https://dergipark.org.tr/tr/pub/akademik-gida/issue/55791/763724>

- Turan, S., Topcu, A., Karabulut, I., Vural, H., Hayaloglu, A. A. 2007. "Fatty acid, triacylglycerol, phytosterol, and tocopherol variations in kernel oil of Malatya apricots from Turkey". *Journal of agricultural and food chemistry*, 55(26), 10787-10794.
- Ünal, M. R. 2010. "Kayısı Araştırma Raporu". Fırat Kalkınma Ajansı, Malatya, 4.
- Yılmaz, İ. 2010. "Antioksidan içeren bazı gıdalar ve oksidatif stres". *Journal of Turgut Ozal Medical Center*, 17(2), 143-154.
- Yoshida, H., Tatsumi, M., Kajimoto, G. 1992. "Influence of fatty acids on the tocopherol stability in vegetable oils during microwave heating". *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 69(2), 119-125.
- Zhang, J., Gu, H.-D., Zhang, L., Tian, Z.-J., Zhang, Z.-Q., Shi, X.-C., Ma, W.-H. 2011. "Protective effects of apricot kernel oil on myocardium against ischemia-reperfusion injury in rats". *Food and chemical toxicology*, 49(12), 3136-3141.



GÜÇ TUTUŞUR ÖZELLİKTE TEKSTİL MATERYALLERİ GELİŞTİRMEK İÇİN NANOKİL KATKILI ISI DEPOLAMA ÖZELLİKLİ MİKROKAPSÜL ÜRETİMİ

Sena DEMİRBAĞ GENÇ^{1*}, Sennur ALAY AKSOY²

¹Uşak Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Uşak, Türkiye

²Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

Anahtar Kelimeler

*Mikrokapsül,
Faz Değiştiren Madde,
Nanokil,
Güç Tutuşur,
Kompleks Koaservasyon.*

Öz

Bu çalışmada, kompleks koaservasyon yöntemi kullanılarak n-eykosan çekirdek içeren ve jelatin/Arap zamkı duvar yapılı mikrokapsüllerin üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretim sırasında mikrokapsüllerin duvar yapısına nanokil partikülleri ilave edilerek mikrokapsüllerin hem termal stabilitesinin artırılması hem de güç tutuşur özellik kazandırılması planlanmıştır. Üretilen mikrokapsüllerin morfolojileri optik mikroskop ve taramalı elektron mikroskop (SEM) analizi ile incelenmiştir. Mikrokapsüllerin ısı depolama özellikleri diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC), termal stabiliteyi termal gravimetrik (TG) analiz ile incelenmiştir. Jelatin+nanokil/Arap zamkı/n-eykosan mikrokapsüllerin küresel morfolojiye sahip oldukları ve başarılı bir şekilde üretildikleri tespit edilmiştir. Mikrokapsüllerin 98,9 J/g ısı depolama kapasitesine sahip olduğu belirlenmiştir. Üretilen mikrokapsüller pamuklu dokuma kumaşa emdirme yöntemi ile uygulanmıştır. Mikrokapsül uygulamasının pamuklu dokuma kumaşın güç tutuşurluk performansı üzerindeki etkisi 45° eğimli otomatik güç tutuşurluk test cihazı kullanılarak ASTM D1230-94 standardına göre değerlendirilmiştir. Nanokil katkı mikrokapsül uygulamasının kumaşa güç tutuşur özellik kazandırdığı ve kumaşın yanma süresini 19,2 s'den 32,1 s'ye yükselttiği tespit edilmiştir.

PRODUCTION OF HEAT STORING MICROCAPSULE WITH ADDITIVE NANOCLAY FOR DEVELOPING FLAME RETARDANT TEXTILE MATERIALS

Keywords

*Microcapsule,
Phase Change Material,
Nano Clay,
Flame Retardant,
Complex Coacervation
Method.*

Abstract

In this study, microcapsules with gelatine/gum Arabic shell structure and containing n-eicosane core were produced using the complex coacervation method. It was planned to increase the thermal stability of the microcapsules and give them flame retardant property by adding nano clay particles to the shell structure of the microcapsules during production. The morphologies of the produced microcapsules were examined by optical microscope and scanning electron microscope (SEM) analysis. The heat storage properties of the microcapsules were investigated by differential scanning calorimeter (DSC), and their thermal stability by thermal gravimetric (TG) analysis. It was determined that gelatine+nanoclay/gum Arabic/n-eicosane microcapsules had spherical morphology were produced successfully. It was determined that the microcapsules have a heat storage capacity of 98.90 J/g. Produced microcapsules were applied to cotton woven fabric by impregnation method. The effect of microcapsule application on the flame-retardant performance of cotton fabric was evaluated according to ASTM D1230-94 standard using a 45° Automatic Flammability Tester. It was determined that nano clay-added microcapsule application made the fabric flame retardant and increased the burning time of the fabric from 19.2 s to 32.1 s.

Alıntı / Cite

Demirbağ Genç, S., Alay Aksoy, S., (2023). Güç Tutuşur Özellikte Tekstil Materyalleri Geliştirmek İçin Nanokil Katkılı Isı Depolama Özellikli Mikrokapsül Üretimi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(3), 976-984.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

S. Demirbağ Genç, 0000-0003-1634-6391
S. Alay Aksoy, 0000-0002-5878-6726

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	24.01.2023
Revizyon Tarihi / Revision Date	17.05.2023
Kabul Tarihi / Accepted Date	25.05.2023
Yayın Tarihi / Published Date	28.09.2023

* İlgili yazar / Corresponding author: sena.demirbag@usak.edu.tr, +90-276-221-4855

PRODUCTION OF HEAT STORING MICROCAPSULE WITH ADDITIVE NANOCILAY FOR DEVELOPING FLAME RETARDANT TEXTILE MATERIALS

Sena DEMİRBAĞ GENÇ^{1†}, Sennur ALAY AKSOY²

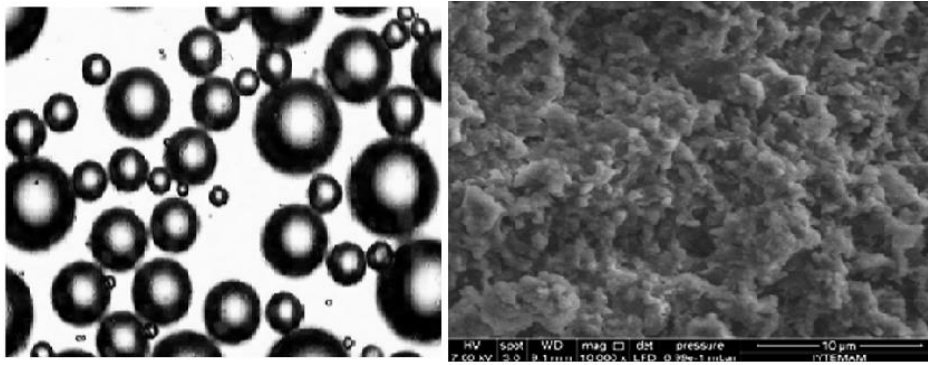
¹Uşak Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Uşak, Türkiye

²Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

Highlights

- Microcapsules having nano clay-doped shell were produced by complex coacervation method.
- Microcapsules with spherical morphology, 98.9 J/g heat storage and improved thermal resistance were obtained.
- The produced microcapsules were applied to the cotton fabrics by impregnation method.
- The microcapsule applied fabrics were exhibited flame retardant property.

Graphical Abstract



Şekil./Figure. Jelatin+nano kil/Arap zamkı/n-eykosan mikrokapsüllerin optik mikroskop (solda) ve SEM (sağda) görüntüleri (Optical microscope (left) and SEM (right) images of the gelatine+nano clay/gum arabic/n-eicosane microcapsules)

Purpose and Scope

In this study, it was aimed to produce microcapsules that could be used in the textile industry as a functionalizing finishing agent. For this aim, microcapsules containing PCM were encapsulated in the shell structure doped with nano clay particles to be used in the production of heat storage and flame-retardant textiles.

Design/methodology/approach

In this study, nano clay doped microcapsules were fabricated by a complex coacervation method. The morphology, heat storage properties and thermal stability of microcapsules were investigated. The produced microcapsules were applied to cotton fabrics by impregnation method and the flame-retardant performance of the fabric was investigated.

Findings

In this study, microcapsules with spherical morphology and high heat storage properties were successfully produced. Nano clay doping ensured to improve the thermal resistance of the microcapsules. The microcapsules gave flame-retardant properties to the fabric.

Originality

According to the literature survey, there are limited numbers of studies on the development of flame-retardant and heat-storage textile materials using microcapsule technology. This study is different from the studies in the literature in respect of the method used in the production of nano clay-doped microcapsule shells and has the potential to contribute to the literature on the production of flame retardant and heat storage microcapsules and textiles.

[†] Corresponding author: sena.demirbag@usak.edu.tr, +90-276-221-4855

1. Giriş (Introduction)

Günümüzde, gelişen teknoloji ile birlikte yaşam standardı yükselen tüketiciler giysilerde moda ve tasarım haricinde gelişmiş konfor ve fonksiyonel özellikler de aramaktadırlar. Özellikle son yıllarda, kullanıcının fizyolojik ihtiyaçlarındaki değişime uyum sağlayabilen ve çevredeki değişikliklere cevap verebilen tekstil materyallerinin tasarımı gittikçe önem kazanmaktadır (Jocic, 2016). Faz değiştiren madde (FDM) içerikli mikrokapsüllerin ısı düzenleyici malzeme olarak tekstil materyallerine uygulanması bu beklentilere çözüm sunmada önemli fırsatlar sunmaktadır.

FDM'ler belirli ve sabit bir sıcaklık aralığında bir fazdan başka bir faza geçiş yapabilen ve bu faz değişimleri sürecinde gizli ısıyı depolayıp geri salabilen malzemelerdir. Bu maddelerin faz değişimi boyunca büyük miktarda gizli ısıyı depolama ve yayma kapasitesine sahip olması, binalarda, tekstil uygulamalarında, güneş enerji sistemleri vb. birçok alanda sıcaklık düzenleme ve termal enerji depolama kaynağı olarak büyük ilgi görmelerini sağlamaktadır (Cengiz vd., 2018; Tözüm ve Alay-Aksoy, 2016; Alay-Aksoy vd., 2017). Doğal ve sentetik olmak üzere 500'den fazla bilinen FDM bulunmaktadır. Bunların farkı, faz değişim sıcaklıkları ve ısı depolama/yayma kapasiteleridir. Tekstil sektörüne yönelik uygulamalarda erime sıcaklıkları vücut sıcaklığına yakın FDM'ler (erime sıcaklığı 15-35 °C aralığında) tercih edilmektedir (Önder ve Sarier, 2006). Yaygın olarak parafinik esaslı n-hekzadekan, n-oktadekan ve n-eykosan tercih edilirken, bu çalışmada erime sıcaklığı 34 °C olan n-eykosan mikrokapsüllenmiştir.

FDM içerikli mikrokapsül üretimi üzerine son yıllarda gerçekleştirilen çalışmalar incelendiğinde, araştırmacıların yüksek ısı depolama kapasitesi yanında farklı fonksiyonel özellikleri sunabilen mikrokapsüllenmiş FDM'lerin geliştirilmesi üzerine odaklandıkları görülmektedir. Yapıya ilave edilen katkı maddeleri ile hem mikrokapsüllerin mekanik ve termal özelliklerini iyileştirilip hem de ilave fonksiyonel özellik kazandırılabilir. Literatürde mevcut çalışmalar incelendiğinde, mikrokapsüllerin yapısına çeşitli inorganik malzemeler ilave edilerek antibakteriyel aktivite, foto-termal dönüşüm, hidrofob karakter, UV absorblama gibi fonksiyonel özellikler kazandırıldığı tespit edilmiştir (Chai vd.,2015; Gao vd.,2017; Liu vd., 2019; Maithya vd. 2020; Yang vd., 2020; Sun vd., 2022). Örneğin Zhang vd.,(2016) gümüş/silika çift katlı duvar yapısına sahip mikrokapsüllerin gizli ısı depolamaya ek olarak yüksek termal iletkenlik ve antibakteriyel aktivite sergilediklerini göstermiştir (Zhang vd. 2016). Cengiz ve arkadaşları (2018), kompleks koaservasyon metodu ile çekirdek madde olarak n-oktadekan parafin içeren jelatin/Arap zamkı/nano çinko oksit ve kitosan/Arap zamkı/nano çinko oksit duvarlı mikrokapsül ürettikleri çalışmalarında mikrokapsüllerin, duvarına katılan nano çinko oksitten dolayı antibakteriyel aktivite sergilediklerini bildirmişlerdir (Cengiz vd., 2018). Farklı bir çalışmada, n-oktadekan/polimetilmetakrilat çekirdek/duvar yapısına sahip mikrokapsüllere TiO₂ ilavesi ile termal enerji depolama ve UV koruma özellikleri kazandırılırken, kaprik asitin melaminürefomaldehit duvar materyali ile kapsüllendiği diğer bir çalışmada duvar materyaline silikon karbür ilave edilerek mikrokapsüllere ısı depolama özelliğine ek olarak foto-termal dönüşüm kazandırılmıştır (Zhao vd., 2017; Wang vd. 2021). Wei vd. ürettikleri parafin çekirdekli, grafen oksit/kurşun tungsten çift duvar yapılı mikrokapsüller ile ısı depolama ve gama ışınlarına karşı koruma özellikli multifonksiyonel kapsülleri geliştirmişlerdir (Wei vd., 2021). Zhao ve arkadaşları ise çekirdek madde olarak parafin, duvar materyali olarak ise grafen/melamin formaldehit duvar yapısını tercih ettikleri çalışmalarında hem ısı depolama özellikli hem de foto-termal dönüşüm yapabilen mikrokapsülleri üretmişlerdir (Zhao vd., 2020).

Bu çalışmada, tekstil sektöründe çoklu fonksiyonel özelliği bir arada sunabilen fonksiyonelleştirici apre maddesi olarak kullanılacak özellikte mikrokapsül üretimi hedeflenmiştir. Bu hedef doğrultusunda, nanokil katkılı jelatin-Arap zamkı duvar yapılı mikrokapsüllerin üretimi kompleks koaservasyon metodu ile gerçekleştirilmiştir. Daha önceki çalışmalarımızda, jelatin/sodyum alginat ve jelatin/Arap zamkı doğal polimer duvarlı mikrokapsüllerin üretim prosesinin farklı aşamalarında nanokil, alüminyum oksit (Al₂O₃) gibi nano malzemeler ilave edilerek kompleks duvar yapıları oluşturulmuştur. Bu çalışmalarda, inorganik malzemeler ya ikinci bir duvar materyali olarak kullanılmış ya da iyonik durumları göz önünde bulundurularak anyonik veya katyonik polimer çözeltilerine karıştırılmıştır. n-Eykosan çekirdekli jelatin/sodyum alginat duvar yapılı mikrokapsülleri üretmiş olduğumuz çalışmamızda, nanokil partikülleri anyonik ve katyonik polimer çözeltisine ilave edilmiştir. Üretilen her iki mikrokapsülün de termal stabilitesinin önemli seviyede arttığı ve uygulandıkları pamuklu kumaşlara güç tutuşur özelliği kazandırdığı tespit edilmiştir (Demirbağ ve Alay-Aksoy, 2016). Diğer bir çalışmamızda, Al₂O₃ nanopartikülleri jelatin/Arap zamkı ve jelatin/sodyum alginat duvar yapısına polianyon polimer çözeltisine karıştırılarak ilave edilmiştir. Mikrokapsüllerin duvar yapısına Al₂O₃ ilavesinin, jelatin/sodyum alginat duvar yapılı mikrokapsülün termal stabilitesini arttırırken, jelatin/Arap zamkı duvar yapılı mikrokapsülün termal stabilitesini arttırmada etkili olmadığı tespit edilmiştir (Demirbağ ve Alay-Aksoy, 2013a). Nanokil partiküllerinin ikinci duvar materyali olarak kullanıldığı başka bir çalışmamızda ise jelatin/nanokil duvar yapılı mikrokapsüllerin termal özelliklerinin terbiye prosesleri ile tekstillere uygulanabilirliği için yeterli olduğu tespit edilmiştir (Demirbağ ve Alay-Aksoy, 2013b). Bu çalışmada, nanokil malzemesi polikasyon jelatin polimer çözeltisi içerisine ilave edilerek jelatin+nanokil/Arap zamkı duvarlı FDM mikrokapsüllerin üretimi gerçekleştirilmiştir.

Uygulamada, pH 4'te anyonik karakterde bulunan nanokil katyonik jelatin polimer çözeltisine ilave edilerek malzemeler arasında elektrostatik bir çekim kuvveti oluşturulması planlanmıştır. Üretilen mikrokapsüllerin morfolojileri ve ısı depolama özelliklerinin yanı sıra nanokil partiküllerin duvar yapısına ilavesinin termal stabiliteye etkisi araştırılmıştır. Ayrıca, mikrokapsüller pamuklu dokuma kumaşa emdirme yöntemi ile uygulanmış ve nanokil katkılı mikrokapsüllerin kumaşların güç tutuşurluk performansı üzerindeki etkisi incelenmiştir.

2. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

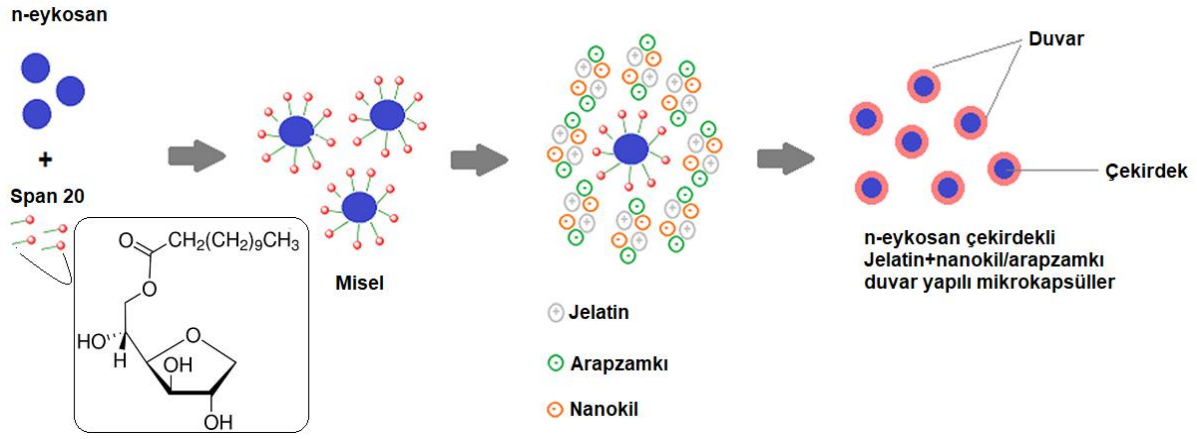
2.1. Materyal (Material)

Mikrokapsül üretiminde çekirdek madde olarak parafin esaslı n-eykosan (Alfa Aesar) faz değiştiren maddesi kullanılmıştır. Mikrokapsüllerin duvar yapısını oluşturmak için jelatin (Tip A, jel gücü 300, Sigma Aldrich) ve Arap zamkı (Sigma Aldrich) polimer çifti kullanılmıştır. Mikrokapsüllerin üretiminde emülsiyon oluşturmak için non-iyonik yüzey aktif madde olan Span 20 (HLB: 8,6) kullanılırken, üretimin son aşamasında mikrokapsüllerin duvar yapısının stabilizasyonu için glutaraldehit (%2,5 Sigma Aldrich) çapraz bağlayıcısı kullanılmıştır. Mikrokapsüllerin termal stabilitesini arttırmak ve applike edildikleri kumaşa güç tutuşur özellik kazandırmalarını sağlamak için inorganik katkı malzemesi olarak nanokil ($\leq 25 \mu\text{m}$, nanopartikül, Sigma Aldrich, hidrofilik bentonit) kullanılmıştır. Üretim sırasında çözeltinin pH'ı asetik asit ve sodyum karbonat kullanılarak ayarlanmıştır.

Mikrokapsüllerin kumaşa uygulanmasında ön terbiye işlemi görmüş 112 g/m^2 ağırlığında, 55 tel/cm çözgü sıklığına, 28 tel/cm atkı sıklığına sahip %100 pamuklu dokuma kumaş kullanılmıştır. Mikrokapsüllerin kumaşa bağlanmasını sağlamak için çapraz bağlayıcı olarak modifiye edilmiş dimetiloldihidroksi etilen üre bazlı reçine olan Fixapret Resin F-ECO (BASF), katalizör olarak magnezyum klorür (MgCl_2) kullanılmıştır.

2.2. Metot (Method)

Çalışmada nanokil katkılı jelatin/Arap zamkı duvar yapıları mikrokapsüllerin üretimi kompleks koaservasyon yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Kompleks koaservasyon yöntemi, zıt yüklere sahip iki polimer arasında kompleks oluşturma esasına dayanmaktadır. Mikrokapsül üretiminde jelatin polikasyon polimeri olarak, Arap zamkı polianyon polimeri olarak kullanılmıştır. Üretim sırasında polikasyon polimer çözeltisinin içerisine nanokil partikülleri ilave edilerek jelatin+nanokil/Arap zamkı organik-inorganik kompozit duvar yapısı elde edilmiştir. Üretimin ilk aşamasında, n-eykosan (3,75 g) çekirdek maddesi, Span 20 (2,5 g) emülgatörü kullanılarak jelatin+nanokil-su çözeltisinin içerisinde emülsiyonlaştırılmıştır. İkinci aşamasında, anyonik karakterdeki Arap zamkı çözeltisi emülsiyon ortamına ilave edilmiş ve pH iki polimerin elektrolit olduğu pH 4-5'e ayarlanarak zıt yüklü polimer molekülleri arasında elektrostatik kuvvetler etkisiyle kompleks oluşumu başlatılmıştır. Reaksiyon 1 saat devam ettirilmiştir. Üçüncü adımda, kompleks oluşumunu durdurmak için ortam pH'ı sodyum karbonat ile pH 9'a ayarlanmıştır. Sonrasında reaksiyon ortamı $5 \text{ }^\circ\text{C}$ 'ye soğutulmuş ve 0,8 g glutaraldehit ilave edilmiş ve mikrokapsüllerin duvar yapılarını stabil hale getirilmek üzere çapraz bağlama reaksiyonu gerçekleştirilmiştir. Üretimin son aşamasında mikrokapsül çözeltisine tanik asit çözeltisi (%10) eklenmiş ve 10 saat bekletilmiştir. Mikrokapsüller saf su ile yıkanmış, filtrelenerek süzölmüş ve kurutulmuştur. Üretim prosesinde polimer çözelti derişimi % 2,5 (ağırlık/hacim) olarak kullanılırken 6,75 g mikrokapsülenmiş FDM sentezi için 0,5 g nanokil partikülleri ilave edilmiştir. Çekirdek madde/duvar maddesi oranı ise 1,5:1 olarak seçilmiş ve proses boyunca 1500 devir/d karıştırma hızında çalışılmıştır (Demirbağ, 2014). Şekil 1'de kompleks koaservasyon yöntemi ile mikrokapsüllerin üretiminin şematik görüntüsü verilmiştir.



Şekil 1. Jelatin+nanokil/Arap zamkı/n-eykosan mikrokapsüllerinin kompleks koaservasyon prosesinin şematik görünümü (Schematic illustration of the complex coacervation process for gelatin+nanoclay/gum arabic/n-ecosane microcapsules)

Üretilen mikrokapsüllerin morfolojileri optik mikroskop görüntüleri ve SEM analizi (Phillips XL-30S FEG SEM) ile incelenmiştir. Optik mikroskop görüntüleri 10X büyütme ile Olympus CX41 marka mikroskop kullanılarak alınmıştır. SEM analizi öncesinde numunelerin yüzeyi altın kaplama ile iletken hale getirilmiştir. Mikrokapsüllerin ısı depolama ve yayma kapasiteleri ile erime ve katılaşma sıcaklıkları DSC (Perkin Elmer) analizi ile araştırılmıştır. Analiz, azot atmosferi altında, -10 ile 80 °C aralığında 10 °C/d ısıtma/soğutma hızında gerçekleştirilmiştir. Mikrokapsüllerin termal stabiliteleri TG analizi (Perkin Elmerdiomand TG/DTA) ile incelenmiştir. TG ölçümleri azot gazı kullanılarak 0- 400 °C aralığında gerçekleştirilmiştir.

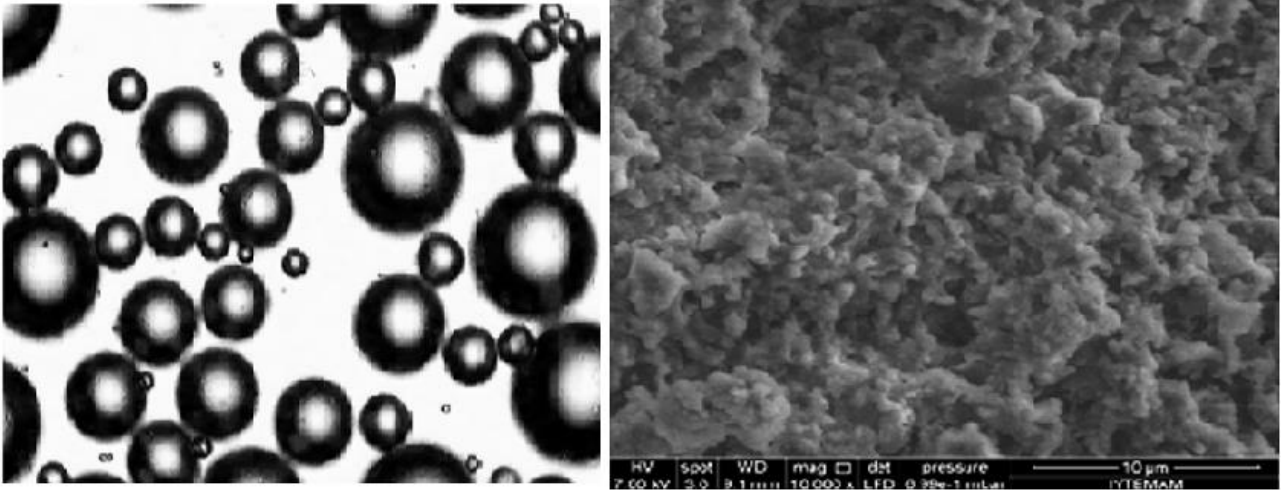
Üretilen mikrokapsüller pamuklu dokuma kumaşa emdirme yöntemi ile uygulanmıştır. Emdirme işlemi öncesinde mikrokapsül derişimi 350 g/L olan mikrokapsül sulu dispersiyonları hazırlanmış ve su içerisinde homojen bir şekilde dağılımını sağlamak için 5000 devir/dakika hızda 1 saat homojenizatör ile karıştırılmıştır. Sonrasında mikrokapsül çözeltisine F-ECO çapraz bağlayıcısı (60 g/L) ve katalizör (15 g/L) ilave edilerek kumaş numunesine uygulanacak flotte hazır hale getirilmiştir. Hazırlanan flotte Ataç-FY 350 Laboratuvar Tipi Yatay Fulard cihazında 2 bar basınç altında 2 m/d hız ile pamuklu kumaşa uygulanmıştır. Sonrasında kumaşlar sırasıyla 80 °C de 5 dakika ve 120 °C de 1 dakika kurutma ve fikse işlemlerine tabi tutularak mikrokapsüllerin kumaş yapısına sabitlenmesi sağlanmıştır.

Mikrokapsül uygulanmış kumaşların güç tutuşurluk performansları BV AFC Auto marka 45° güç tutuşurluk test cihazı kullanılarak ASTM D1230-94 (Giyim Tekstillerinin Yanabilirliği için Standart Test Yöntemi) standardına göre araştırılmıştır. Testte alev beki kumaşın yüzeyinin alt ucuna 1, 2, 3 ve 4 saniye süreyle uygulanmış ve tutuşmanın başladığı süre tutuşma süresi olarak kaydedilmiştir. Ayrıca kumaşın yanma süresi ve yanma özellikleri de test süresince kaydedilmiştir. Test her bir numune için beş defa tekrarlanmış ve yanma sürelerinin aritmetik ortalamaları alınarak numunelerin tutuşma sınıfları belirlenmiştir.

3. Sonuçlar ve Tartışma (Results and Discussion)

3.1. Optik mikroskop ve SEM Analiz Sonuçları (Optical Microscope and SEM Analysis Results)

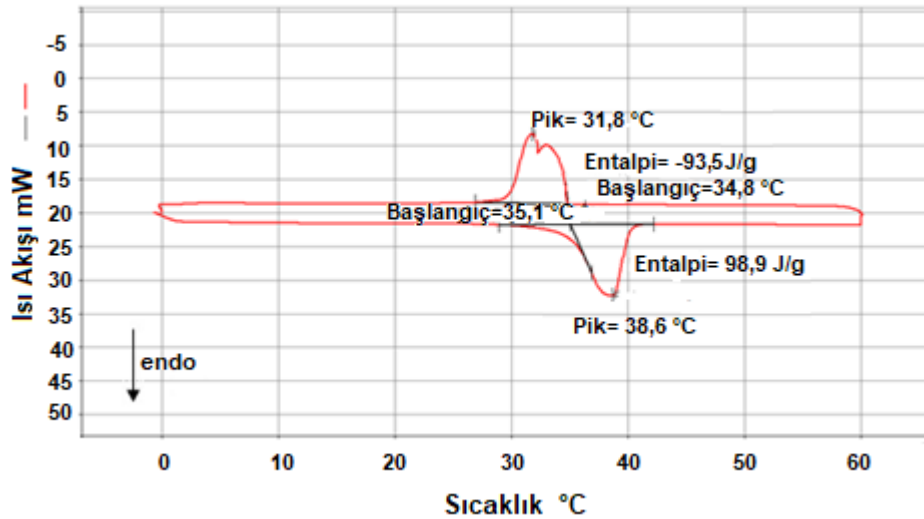
Mikrokapsüllerin morfolojilerini araştırmak için SEM ve optik mikroskop görüntüleri alınmıştır. SEM görüntüleri kurutulmuş mikrokapsül örneğinden alınırken, optik mikroskop görüntüleri mikrokapsül üretim prosesinin son aşaması olan çapraz bağlama prosesi tamamlanır tamamlanmaz sulu ortamdan alınan numune üzerinden alınmıştır. Şekil 2'de optik mikroskop ve SEM analizine ait görüntüler verilmiştir. Optik mikroskop görüntüleri incelendiğinde, n-eykosan çekirdekli jelatin+nanokil/Arap zamkı duvar yapılı mikrokapsüllerin küresel morfolojiye sahip oldukları görülmektedir. SEM görüntüleri incelendiğinde ise tanecikli mikrokapsül oluşumu gözlemlenirken mikrokapsül oluşumunun gerçekleşmediği polimer parçacıklarının da olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, mikrokapsüllerin optik mikroskop görüntülerinde görülen küresel morfolojilerinin SEM görüntülerinde bozulduğu dikkat çekmektedir. Bu durum, mikrokapsüllerin kurutulmaları sırasında birbirlerine tutunmalarından ve kümeleşmelerinden kaynaklanmaktadır. Özetle, geliştirilen proses ile tanecikli yapıda, toz halinde mikrokapsüllerin elde edildiği belirlenmiştir. Öte yandan SEM görüntüleri üzerindeki skaladan mikrokapsüllerin boyutlarının 1 µm civarında olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 2. Jelatin+nanokil/Arap zamkı/n-eykosan mikrokapsüllerin optik mikroskop (solda) ve SEM (sağda) görüntüleri (Optical microscope (left) and SEM (right) images of the gelatin+nanoclay/gum arabic/n-eicosane microcapsules)

3.2.DSC Analiz Sonuçları (DSC Analysis Results)

Mikrokapsüllerin ısıl özellikleri DSC analizi ile incelenmiş ve analizde elde edilen DSC grafiği Şekil 3'te verilmiştir. DSC grafiğine göre, jelatin+nanokil/Arap zamkı/n-eykosan mikrokapsüllerin erime sıcaklığı 35,1 °C iken katılaşma sıcaklığı 34,8 °C olarak ölçülmüştür. Mikrokapsüllerin faz değiştirme sıcaklıklarının çekirdek madde n-eykosanın faz değiştirme sıcaklıklarına ($T_e=36,1$ °C ve $T_k=30,6$ °C) yakın olduğu görülmüştür. Mikrokapsüllerin erimeleri sırasında 98,9 J/g ısı depolarken katılaşmaları sırasında -93,5 J/g ısı yaydıkları belirlenmiştir.

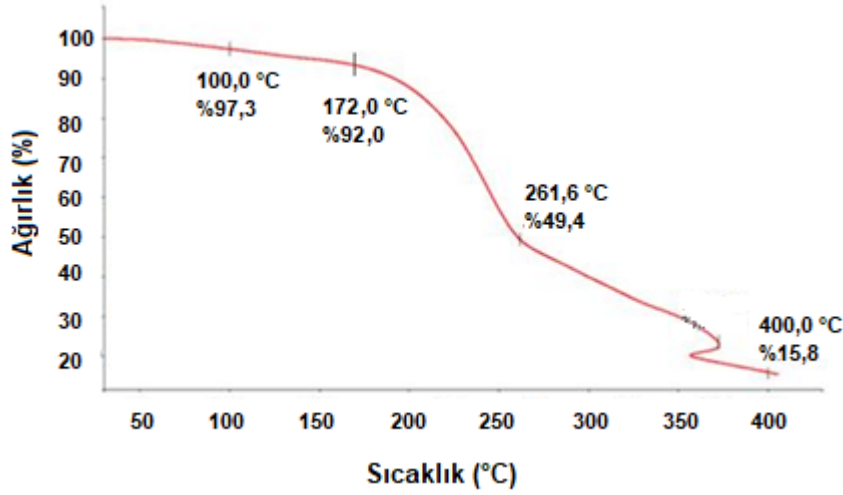


Şekil 3. Jelatin+nanokil/Arap zamkı/n-eykosan mikrokapsüle ait DSC eğrisi (DSC results of of gelatin+nanoclay/gum arabic/n-eicosane microcapsules)

3.3.TG Analiz Sonuçları (TG Analysis Results)

Üretilen jelatin+nanokil/Arap zamkı/n-eykosan mikrokapsüllerin TG eğrisi Şekil 4'te verilmiştir. TG eğrisi incelendiğinde, mikrokapsüllerin üç aşamalı bozunma sergiledikleri görülmüştür. İlk bozunma 100-172 °C arasında gerçekleşirken, mikrokapsüllerin yapısında absorbe edilen suyun buharlaşmasından kaynaklı toplam yüzde 7'lik bir kütle kaybı meydana gelmiştir. İkinci bozunma adımı 172 °C'de başlamış olup yaklaşık yüzde 43'lük bir kütle kaybı ile sonuçlanmıştır. Kapsüllerde görülen bu kütle kaybı, mikrokapsülün çekirdek maddesi olan n-eykosanın sıcaklık artışına bağlı buharlaşması ve gaz fazından duvar yapıdan uzaklaşmasından kaynaklanmaktadır (Basal vd, 2011). Yaklaşık 261 °C'de başlayan son termal bozunma adımı ise mikrokapsüllerin duvar yapısının parçalanmasından kaynaklanmakta olup yaklaşık yüzde 34'lük kütle kaybı ile neticelenmiştir. 400 °C sonunda mikrokapsül kütlelerinin halen yüzde 15'i kalmıştır. Daha önceki çalışmamızda üretmiş olduğumuz jelatin/Arap zamkı/n-eykosan mikrokapsüllerinin ise iki aşamada bozunduğu görülmüş olup n-eykosanın uzaklaşmasından kaynaklı kütle kaybının meydana geldiği ilk adımın 172°C'de başladığı ve yüzde 43'lük bir kütle kaybının olduğu görülmüştür. İkinci bozunma adımının ise 240-400°C arasında gerçekleştiği ve yüzde 27,16 kütle kaybının olduğu tespit edilmiştir (Demirbağ ve Alay-Aksoy, 2013a). Sonuçlar değerlendirildiğinde,

mikrokapsüllerin duvar yapısına katılan nanokil partiküllerinin duvar yapının bozunmaya başladığı sıcaklığı 240°C'den 261°C'ye yükselttiği ve mikrokapsüllerin termal dayanımını geliştirmeye olumlu katkı sağladığı tespit edilmiştir. Mikrokapsüllerin duvar yapısına ilave edilen nanokil partiküllerin termal dayanıma etkisini daha ayrıntılı incelemek amacıyla, TG analizinde 150 °C ve 250 °C arasındaki kalan kütle miktarları araştırılmış ve Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 4. Mikrokapsüle ait TG eğrisi (TG curve of microcapsule)

Tablo 1'de verilen nanokil içeren ve içermeyen mikrokapsüllerin 150-250 °C sıcaklık aralığında kalan kütle miktarları karşılaştırıldığında, nanokil içerikli mikrokapsüllerin özellikle yüksek sıcaklıklarda kalan kütle miktarlarının daha fazla olduğu görülmektedir. Bu değerler, mikrokapsül üretimi sırasında katyonik karakterli polimer çözeltisine nanokil ilavesinin mikrokapsülün termal stabilitesini arttırmada etkili olduğunu ortaya koyan bulgu olarak değerlendirilmiştir.

Tablo 1. Mikrokapsüllerin 150-250 °C aralığındaki kalan kütle miktarları (Residual weight of microcapsules between 150-250 °C)

Mikrokapsülün adı	İlave edilen Nanokil miktarı	Termal bozunma sonrası kalan ağırlık yüzdesi (%)						
		150 °C	200 °C	210 °C	220 °C	230 °C	240 °C	250 °C
jelatin/Arap zamkı/ n-eykosan *	--	96	83	76	67	56	49	45
jealtin+nanokil/Arap zamkı/ n-eykosan	0,5 gr	94	87,5	84	79	73,5	66	56

* jelatin/Arap zamkı/ n-eykosan mikrokapsülü daha önceki çalışmamızda üretilmiş ve karşılaştırma için burada kullanılmıştır (Demirbağ ve Alay-Aksoy, 2013a)

3.4.Güç Tutuşurluk Test Sonuçları (Flammability Of Test Results)

Mikrokapsül uygulanmış kumaşlara ait güç tutuşurluk test sonuçları Tablo 2'de verilmiştir. Mikrokapsül uygulamasının pamuklu kumaşın güç tutuşurluk performansı üzerindeki etkisini araştırmak için daha önceki çalışmamızda test ettiğimiz ham kumaş ve F-ECO uygulanmış kumaşın güç tutuşurluk test sonuçları ile karşılaştırılmıştır (Demirbağ ve Alay-Aksoy, 2016). Tablo 2'de verilen kumaşların tutuşma süreleri ve yanma sürelerine göre, tüm kumaşlar "Sınıf 1" olarak sınıflandırılmıştır. Sınıf 1, bu numunelerin 7 s'den fazla yanma süresine sahip olduğunu ve bu kumaşların tekstil giyimleri için uygun olduğunu göstermektedir (ASTM D1230-94). Ancak, kumaşlar tutuşma süreleri ve yanma süreleri açısından farklılık göstermiştir. Pamuklu ham kumaş numunesi 2,4 s'de tutuşmaya başlamış 19,2 s'de tamamen yanmıştır. Buna karşın sadece F-ECO çapraz bağlayıcısı uygulanmış kumaşın tutuşma ve yanma süresi sırasıyla 2,2 s ve 15,2 s olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlardan mikrokapsül uygulanmasında kullanılan çapraz bağlayıcısının pamuklu kumaşın güç tutuşurluk özelliğini düşürdüğü belirlenmiştir (Demirbağ ve Alay-Aksoy, 2016). Ancak, mikrokapsül uygulaması sonrasında hem tutuşma süresi hem de yanma süreleri artmıştır. Mikrokapsül içerikli pamuklu kumaşın tutuşma süresi, ham kumaş için belirlenen 2,4 s'den 3,6 s'ye, yanma süresi ise 19,2'den 32,1 s'ye yükseltmiştir. Elde edilen sonuçlardan

nanokil katkılı mikrokapsül uygulamasının pamuklu kumaşın güç tutuşurluk performansını geliştirdiği sonucuna varılmıştır.

Tablo 2. Kumaşların tutuşma ve yanma süreleri (Ignition and burning times of the fabrics)

Numune kodu	Ortalama tutuşma süresi (s)	Ortalama yanma süresi (s)
Ham kumaş*	2,4	19,2
F-ECO uygulanmış kumaş*	2,2	15,2
Mikrokapsül uygulanmış kumaş	3,6	32,1

* Ham kumaş ve F-ECO uygulanmış kumaşların testleri daha önceki çalışmamızda gerçekleştirilmiş ve karşılaştırma için tabloda verilmiştir (Demirbağ ve Alay-Aksoy, 2016)

4. Sonuçlar (Conclusion)

Bu çalışmada güç tutuşur özellikte tekstil materyallerinin geliştirilmesinde kullanılmak üzere ısı depolama özellikli mikrokapsüllerin üretimi hedeflenmiştir. Bu amaç için kompleks koservasyon metodu kullanılarak jelatin/Arap zamkı duvar yapılı mikrokapsüller üretilmiş ve nanokil partikülleri üretim aşamasında polikasyon çözeltisinin içerisine ilave edilerek duvar yapısına takviye edilmiştir. Üretilen mikrokapsüllerin SEM ve optik mikroskop görüntülerine göre, homojen boyut dağılımına sahip oldukları ve küresel morfolojiye sahip oldukları ancak kümelenme eğilimi gösterdikleri belirlenmiştir. DSC analiz sonuçlarına göre, mikrokapsüllerin 98,9 J/g ile oldukça yüksek ısı depolama kapasitesine sahip olduğu belirlenmiştir. TG analiz sonuçlarına göre, üretilen mikrokapsüllerin duvar yapısına katılan nanokil partiküllerinin mikrokapsüllerin özellikle yüksek sıcaklıklara karşı termal stabilitesini geliştirmede etkili olduğu tespit edilmiştir. Özellikle 150-250 °C sıcaklık aralığında, inorganik madde içeren ve içermeyen jelatin/Arap zamkı duvar yapılı mikrokapsüllerin kalan kütle miktarları arasındaki farkın arttığı, nanokil katkılı mikrokapsülün kütle kaybının daha az olduğu tespit edilmiştir.

Üretilen mikrokapsüller pamuklu dokuma kumaşa emdirme yöntemiyle uygulanmış ve kumaşların güç tutuşurluk performansı araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, inorganik madde katkılı mikrokapsüllerin pamuklu kumaşlara güç tutuşur özellik kazandırdığı ve yanma süresini 19,2 s'den 32,1 s'ye arttırdığı belirlenmiştir. Bu çalışmada özellikle tekstil materyaline hem ısı depolama hem de güç tutuşur özellik kazandırabilecek nanokil katkılı mikrokapsül üretimine odaklanılmıştır. Bu yüzden sadece mikrokapsül karakterizasyonu ve kumaşların güç tutuşurluk özellikleri incelenmiştir. Bu çalışmanın devamı olarak, kapsüllerin giysi termal konfor performansı açısından sunacağı katkıyı değerlendirmek için söz konusu mikrokapsüllerin uygulandığı kumaşların ısı düzenleme özelliklerinin yanı sıra sıvı transfer ve hava geçirgenlik özelliklerinin araştırılmasının faydalı olacağı düşünülmektedir.

Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışma Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından 3235-YL1-12 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)

- Alay Aksoy, S., Alkan, C., Tözüm, M. S., Demirbağ, S., Altun Anayurt, R., Ulçay, Y. 2017. Preparation and textile application of poly (methyl methacrylate-co-methacrylic acid)/n-octadecane and n-eicosane microcapsules. The Journal of the Textile Institute, 108(1), 30-41.
- Basal, G., Deveci, S., Yalçın, D., Bayraktar, O. 2011. Properties of n-Eicosane-Loaded Silk Fibroin-Chitosan Microcapsules. Journal of Applied Polymer Science, 121, 1885–1889.
- Cengiz, Ö.F., Erkale, İ., Özkayalar, S., Alay-Aksoy, S., Boyacı, B. 2018. Nano çinko oksit takviyeli jelatin/arap zamkı ve kitosan/arap zamkından üretilen ve n-oktadekan içeren mikrokapsüllerin karakterizasyonu ve tekstil uygulaması. Tekstil ve Mühendis Dergisi, 25(110), 86-95.
- Chai, L., Wang, X., Wu, D. 2015. Development of bifunctional microencapsulated phase change materials with crystalline titanium dioxide shell for latent-heat storage and photocatalytic effectiveness. Applied Energy, 138, 661-674.
- Demirbağ, S. 2014. Kompleks Koservasyon Metodu İle Isı Depolama Ve Güç Tutuşur Özellikli Mikrokapsül Üretimi ve Tekstil Uygulamaları. Yüksek lisans tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Türkiye.

- Demirbağ S., Alay Aksoy, S., 2013a. İnorganik Madde İlave Edilerek Geliştirilmiş Termal Stabiliteye Sahip Isı Depolama Özellikli Mikrokapsül Üretimi ve Karakterizasyonu. *Tekstil ve Mühendis Dergisi*, 20(92), 27-35. Doi: 10.7216/130075992013209203.
- Demirbağ, S., Alay Aksoy, S., 2013b. Isı Depolama Özellikli Jelatin-Nanokil/n-Eykosan Mikrokapsüllerin Üretimi ve Karakterizasyonu. *Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 7(3), 30-36.
- Demirbağ, S., Alay Aksoy, S., 2016. Encapsulation of phase change materials by complex coacervation to improve thermal performances and flame retardant properties of the cotton fabrics. *Fibers and Polymers*, 17(3), 408-417. Doi: 10.1007/s12221-016-5113-z.
- Gao, F., Wang, X., Wu, D. 2017. Design and fabrication of bifunctional microcapsules for solar thermal energy storage and solar photocatalysis by encapsulating paraffin phase change material into cuprous oxide. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 168, 146-164.
- Jocic, D., 2016. Polymer-Based Smart Coatings for Comfort in Clothing. *Tekstilec*, 59(2), 107-114
- Liu, J., Chen, Z., Liu, Y., Liu, Z., Ren, Y., Xue, Y., Zhu, B., Wang, R., Zhang, Q. (2019). Preparation of a PCM microcapsule with a graphene oxide platelet-patched shell and its thermal camouflage applications. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 58(41), 19090-19099.
- Maithya, O.M., Li, X., Feng, X., Sui, X., Wang, B. 2020. Microencapsulated phase change material via Pickering emulsion stabilized by graphene oxide for photothermal conversion. *Journal of materials science*, 55(18), 7731-7742.
- Önder, E., Sarier N. 2006. Sıcaklık Düzenleme İşlevi Olan Akıllı Tekstil Ürünlerinin Tasarımı. TÜBİTAK Projesi, No: MİSAG-238, İstanbul, 113.
- Sun, Z., Shi, T., Wang, Y., Li, J., Liu, H., Wang, X. 2022. Hierarchical microencapsulation of phase change material with carbon-nanotubes/polydopamine/silica shell for synergistic enhancement of solar photothermal conversion and storage. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 236, 111539.
- Tözüm, M.S., Alay-Aksoy, S. 2016. Investigation of tactile comfort properties of the fabrics treated with microcapsules containing phase change materials (PCMs microcapsules). *The Journal of The Textile Institute*, 107(9), 1203-1212.
- Wang, X., Zhang, C., Wang, K., Huang, Y., Chen, Z. 2021. Highly efficient photothermal conversion capric acid phase change microcapsule: Silicon carbide modified melamine urea formaldehyde. *Journal of Colloid and Interface Science*, 582, 30-40.
- Wei, H., Yang, W., He, F., Li, Y., Lou, L., Wang, R., He, R., Fan, J., Zhang, K. 2021. Core@ double-shell structured multifunctional phase change microcapsules based on modified graphene oxide Pickering emulsion. *International Journal of Energy Research*, 45(2), 3257-3268.
- Yang, L., Yuan, Y., Zhang, N., Dong, Y., Sun, Y., Ji, W. 2020. Photo-to-thermal conversion and energy storage of lauric acid/expanded graphite composite phase change materials. *International Journal of Energy Research*, 44(11), 8555-8566.
- Zhang, X., Wang, X., Wu, D. 2016. Design and synthesis of multifunctional microencapsulated phase change materials with silver/silica double-layered shell for thermal energy storage, electrical conduction and antimicrobial effectiveness. *Energy*, 111, 498-512.
- Zhao, J., Yang, Y., Li, Y., Zhao, L., Wang, H., Song, G., Tang, G. 2017. Microencapsulated phase change materials with TiO₂-doped PMMA shell for thermal energy storage and UV-shielding. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 168, 62-68.
- Zhao, Q., Yang, W., Li, Y., He, Z., Li, Y., Zhou, Y., Wang, R., Fan, J., Zhang, K. (2020). Multifunctional phase change microcapsules based on graphene oxide Pickering emulsion for photothermal energy conversion and superhydrophobicity. *International Journal of Energy Research*, 44(6), 4464-4474.



GEOTEKNİK PARAMETRELERİN VE YÜKLEME ŞARTLARININ GÜNEŞ PANEL SİSTEMLERİNİN DEPLASMANLARI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

E. Büşra ÇIKILI^{1*}, M. Kubilay KELEŞOĞLU²

¹ Geoproje Mühendislik Danışmanlık İnşaat San. ve Tic. Ltd. Şti., İstanbul, Türkiye

² İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Güneş Panelleri, Temel Sistemleri, Deplasmanlar, FLAC 3D, Sayısal Model.</i>	Güneş enerjisi yenilenebilir olması ve çevre kirliliğine neden olmamasından dolayı son yıllarda ülkemizde kullanım yüzdesi giderek artan enerji kaynakları arasında yer almaktadır. Güneş panellerinin taşıyıcı sistemi ve çelik kolonlarla tesis edilen panel temellerin davranışı incelenmeye değer konulardır. Bu çalışmada güneş panel temellerinin zemin ile etkileşimi ve geoteknik tasarımını etkileyen faktörler irdelenmiştir. FLAC 3D üç boyutlu sonlu farklar yazılımıyla güneş paneli üst yapısı ve zemin profili modellenmiş, referans geoteknik parametreler kullanılarak 8 farklı yük kombinasyonu için analizler gerçekleştirilmiştir. Zemin parametrelerinin (elastisite modülü, kayma mukavemeti açısı) değiştiği, kazık soket boyu, kar ve rüzgâr yükü etkisinin incelendiği seri analizler yürütülmüştür. Bu analizler dahilinde panel sisteminin kazık elemanlarının deplasmanları incelenmiştir. Analiz sonuçlarından elde edilen bulgular kar ve rüzgâr yükünün sistemin deplasmanları bakımından belirleyici olduğu, ilaveten soket boyu ve zeminin mukavemet parametrelerinin de mobilize olan deplasmanları etkilediği sonucuna ulaşılmıştır.

THE EFFECT OF GEOTECHNICAL PARAMETERS AND LOADING CONDITIONS ON DISPLACEMENT OF SOLAR PANEL SYSTEMS

Keywords	Abstract
<i>Solar Panels, Foundation Systems, Displacements, FLAC 3D, Numerical Modelling.</i>	Since the solar energy is renewable and does not cause environmental pollution, it is among the energy sources that have been used in our country in recent years. The structural system of solar panels and the behavior of panel foundations installed with steel columns are critical and requires further investigation. In this study, the interaction of the solar panel foundations with the soil and the factors affecting the geotechnical design were examined. The superstructure of the solar panel and the soil profile were modeled with FLAC 3D finite differences software and analyses were performed for eight different load combinations using the reference geotechnical case. Serial analyses were carried out in which soil parameters (elasticity modulus, angle of shearing resistance) were varied with the influence of pile socket length, snow and wind loads. Within these analyses, the displacements of the pile elements of the panel system were examined. The findings obtained from the numerical results show that the snow and wind loads are dominant in terms of the displacements of the system, in addition, the socket length and strength parameters of the soil also greatly influence the mobilized displacements.

Alıntı / Cite

Çıkılı, E.B., Keleşoğlu, M.K. (2023). Güneş Paneli Sistemlerinde Gözlenen Deplasmanların Sonlu Farklar Yöntemi İle Tahmini, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(3), 985-1000.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

E.B. Çıkılı, 0000-0003-1373-7856
M.K. Keleşoğlu, 0000-0003-1721-7946

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	30.11.2021
Revizyon Tarihi / Revision Date	12.11.2022
Kabul Tarihi / Accepted Date	26.12.2022
Yayın Tarihi / Published Date	28.09.2023

* İlgili yazar / Corresponding author: busracikili@hotmail.com.tr, +90-535-715-9256

THE EFFECT OF GEOTECHNICAL PARAMETERS AND LOADING CONDITIONS ON DISPLACEMENT OF SOLAR PANEL SYSTEMS

E. Büşra ÇIKILI^{1†}, M. Kubilay KELEŞOĞLU²

¹ Geoproje Mühendislik Danışmanlık İnşaat San. ve Tic. Ltd. Şti., İstanbul, Türkiye

² İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

Highlights

- The use of solar energy has gained importance in recent years.
- Today, the number of solar power plants with many applications continues to increase.
- With this increase, the need for information, from the development of solar panel elements to the issues to be considered in the assembly in the field, is also increasing.
- In this study, the solar panel system was modeled in FLAC 3D software. The displacement behavior of pile elements depending on various variables has been investigated.

Graphical Abstract (If applicable)

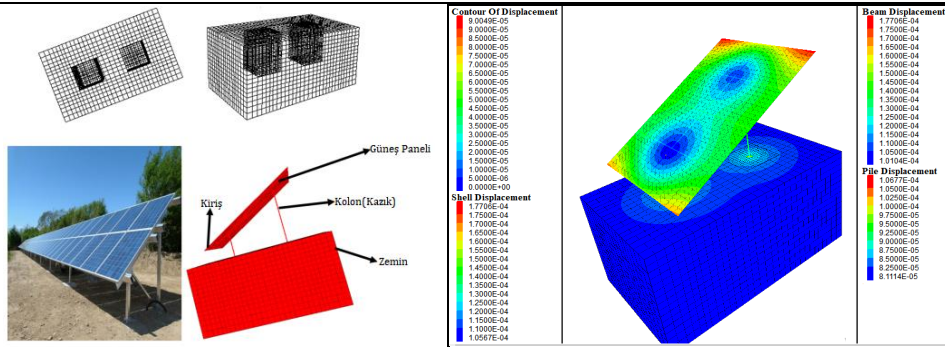


Figure. The schematic view of a typical solar panel system and its numerical model counterpart

Purpose and Scope

In the study, the interaction of the solar panel foundations with the ground and the factors affecting the geotechnical design were examined. Instead of empirical subgrade modulus values geotechnical parameters such as elasticity modulus, angle of shearing resistance of geomaterials were used.

Design/methodology/approach

Analyses were performed for eight different load combinations using the reference geotechnical case. Serial analyses were carried out in which soil parameters (elasticity modulus, angle of shearing resistance) were varied with the influence of pile socket length, snow and wind loads.

Findings

In our analysis, we examined pile element displacements in the panel system. Numerical results highlight the dominance of snow and wind loads in system displacements, with soil socket properties also strongly influencing these displacements.

Research limitations/implications (if applicable)

The findings of this research needs verification with measured field data and perhaps further modifications or analyses must be carried out for a better understanding of the structural mechanism.

Practical implications (if applicable)

Increased $\pm y$ -direction wind loads caused rapid displacements in the panel system, resulting in collapse for certain load combinations. Solar panel systems, lacking side walls, need examination for the parachute effect, with wind and snow loads being critical factors. ASCE standards recommend higher wind speeds than TS 498 in Turkey, potentially leading to unsafe design outcomes based on TS 498 guidelines.

Social Implications (if applicable)

The social impact of this paper is for the design engineers and solar panel companies. As the design methodologies are further improved the efficiency of such power plants will increase.

Originality

In this study, we used FLAC3D software to model the entire solar panel system, including structural elements, soil profiles, and load combinations. The model allowed us to investigate pile element displacement under different conditions.

[†] Corresponding author: busracikili@hotmail.com.tr, +90-535-715-9256

1. Giriş (Introduction)

Güneş enerjisinin kullanımı ülkemizde son yıllarda önem kazanmaya başlamıştır. Türkiye, güneş ışınımı ve güneşlenme süreleri bakımından bu enerjinin kullanılabilirliği ülkelerden birisidir. Günümüzde mevcut birçok uygulaması bulunan güneş enerjisi tesislerinin sayıları artmaya devam etmektedir. Bu artışla birlikte güneş panel elemanlarının geliştirilmesinden sahada montajında dikkat edilmesi gereken hususlara kadar bilgi ihtiyacı da artmaktadır. Akdağ ve Yeroğlu (2019) tarafından güneş santralini, güç sistemine en iyi şekilde entegre etmek için sanal model oluşturulup, güç sistemine etkileri analiz edilmiştir. Güner ve Yazıcı (2022) tarafından dağıtım sistemlerinin çalıştığı süre boyunca görevlerini yerine getirmesini temsil eden güvenilirlik analizleri yapılmıştır. Güneş panellerinin uzun süre veriminin korunması önemli bir konu olarak karşımıza çıkmakta ve panel sisteminin yapısal tasarımında yapılan birtakım hatalar bu verimi azaltmaktadır (Girgin, 2011). Özellikle servis vermekte olan tesislerde, panel temellerinde ve çevresinde zaman içerisinde oluşan boşluklar ve çatlaklar ile bunlara bağlı gelişen oturmalar, panel verimliliğini ciddi olarak düşürmektedir. Bu çalışma kapsamında güneş paneli sistemini oluşturan elemanlar, zemin profili, yük ve yük kombinasyonları FLAC 3D yazılımında tanımlanarak güneş panel sistemini oluşturan yapısal elemanların tamamı modellenmiştir. Güneş panel sisteminin hem statik hem de geoteknik modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan modelde çeşitli değişkenlere bağlı olarak kazık elemanların deplasman davranışları incelenmiştir. Modelin analizine geçmeden önce güneş panellerinin geoteknik tasarımı, güneş paneli üzerine etki eden yükler ve yük kombinasyonları anlatılmaktadır. Tek tabakadan oluşan zemin profilinin özellikleri, güneş paneli sistemini oluşturan elemanların özellikleri, yükleme şekli, kullanılan yük kombinasyonları aktarılmıştır. Panel sistemin çelik ayakları üzerindeki deplasman değerlerini etkileyen unsurları incelemek için farklı zemin parametreleri (elastisite modülü, kayma mukavemeti açısı), kazık elemanın soket boyu uzunluğu, rüzgâr yükü ve kar yükü için yapılan analizler sonucunda elde edilen deplasman değerleri sunulmuş ve her bir değişikliğin sonuçlar üzerindeki etkisi incelenmiştir.

2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Güneş insanlık için tükenmez bir enerji kaynağıdır. Güneş'in kütesinin büyük bir kısmı (%90) protonlardan oluşmaktadır. Güneş'in ışıması 3.86×10^{26} J/saniye olup, saniyede yaklaşık 600 milyon hidrojen(proton) tüketilir. (Girgin, 2011). Saniyede 3.86×10^{26} J ışıma değeri, hidrojen atomlarının nükleer faaliyeti sonucu Helyum atomu oluşmasına ve açığa çıkan enerjiyi ifade etmektedir(Varınca ve Gönüllü, 2006). Buna bağlı olarak Güneş'teki hidrojen yakıtının tükenmesi için gerekli süre yaklaşık 5 milyar yıldır (Girgin, 2011).

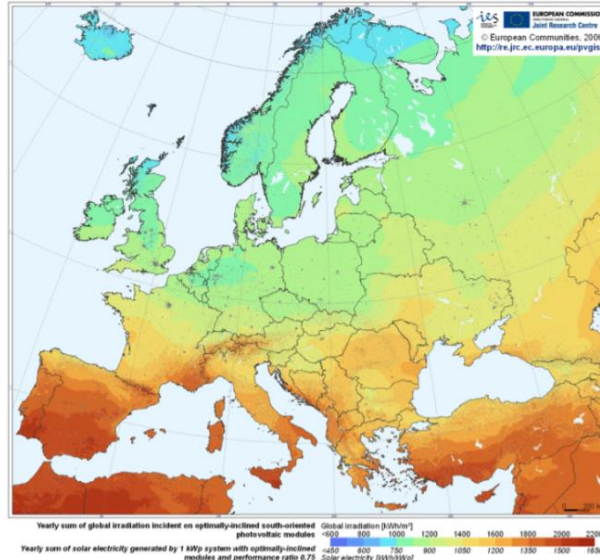
Işın olarak tüm doğrultularda yayılan bu enerji 3×10^8 m/s ışık hızıyla hareket ettiği için, Dünya'ya 8 dakika 20 saniyede ulaşacaktır (McVeigh, 2013). Güneş ışınlarının bir kısmı atmosferden geçerek Dünya'ya ulaşırken bir kısmı da bulutlardan geri yansır. Bu yansımaya rağmen 84 dakikalık ısı radyasyonun Dünya'nın bir yıllık enerji ihtiyacını karşılayacağı tahmin edilmektedir (Kalogirou, 2013).

Tarihte kullanılan ilk enerji üretim kaynağı Güneş'tir. M.Ö. 287-212 yılları arasında Yunan filozof ve matematikçi Archimed güneş ışınlarını aynadan yansıtarak Roma gemilerini yakmıştır (Kalogirou, 2013).18. Yüzyılda demir gibi metallerin eritilmesine yarayan güneş enerjisini toplayan kolektörlerin olduğu bilinmektedir. 19.Yüzyılda ise August Mouchot güneş enerjisinin farklı enerjilere dönüştürülmesi prensibine dayanan parabolik aynalar ile çalışan buhar makinesini yapmıştır (Özbaşaran,2018).

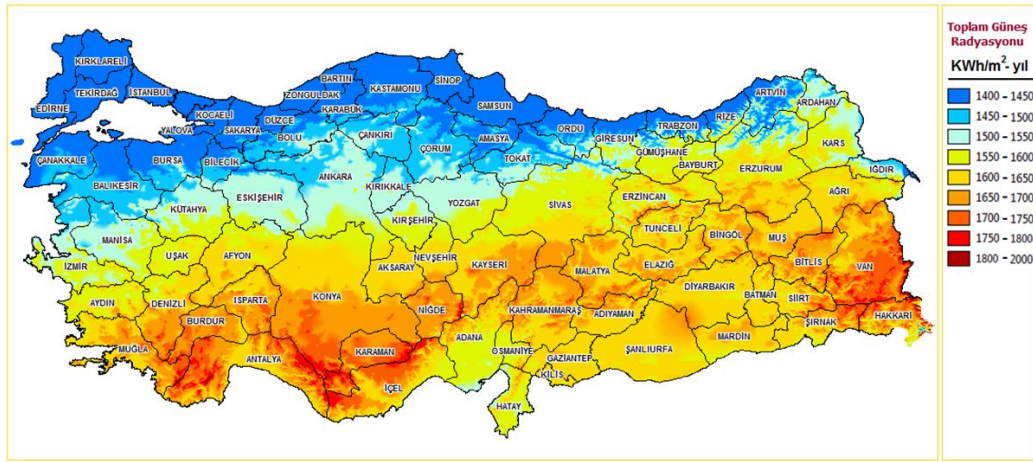
1839 yılında platin tabakalar ile yaptığı çalışmalar sonucunda güneş hücreleri ya da panelleri ile Güneş'ten elektrik elde etme yöntemi olan fotovoltaik etkiyi ilk Fransız fizikçi Alexander Edmond Becquerel, 1873 yılında bilim insanı Willoughby Smith selenyumun fotoiletken olduğunu keşfetmiştir. 1946 yılında Russell Ohl fotovoltaik güneş panelinin patentini almıştır (Çıkılı,2017).

ABD'nin New Mexico eyaletinin Albuquerque şehrinde 1979 yılında ilk ticari güneş santralleri kurulmuştur. 1985 yılında Barstow, California'da kurulan güneş paneli tarlasının Güneş olmadığı zamanlarda 7 MW'lık enerji ürettiği bilinmektedir (Kalogirou, 2013).

Şekil 1'de görüldüğü üzere Türkiye Avrupa'daki en güneşli bölgelerden birisidir. Türkiye'de güneş enerjisi sistemleri için en uygun yerler Devlet Meteoroloji İşleri(DMİ) Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan Şekil 2'deki ışınım haritasına göre Orta Anadolu, Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu bölgeleridir. (Girgin, 2011).



Şekil 1. Avrupa Güneş Enerji Haritası (Europe Solar Energy Map)(Girgin, 2011)



Şekil 2. Türkiye Işınm Haritası (Turkey Radiation Map)(Girgin, 2011)

Güneş enerjisini elektrik enerjisine çeviren güneş pilleri, elektrik üretimi için yaygın olarak kullanılmaktadır. Fotovoltaik (PV) güç sistemleri, akım ve voltaja bağlı fotovoltaik modüller, depolamaya yarayan aküler, kontrol alt sistemi ile doğru akım / alternatif akım (DC/AC) çeviricilerden oluşmaktadır. Çatı ve yüzeylerdeki sistemlerin güçleri 1-50 kW, fotovoltaik santrallerin güçleri ise 100 kW-MW arasında değişmektedir (Keçel, 2007).

Kurulu güç kapasitelerine göre Çin'de Tengger Desert Solar Park (1547 MW), Hindistan'da Kurnool Ultra Mega Solar Park (1000 MW), Amerika Birleşik Devletleri'nde Solar Star (I and II)(579MW) olmak üzere Dünya'da büyük kapasiteli güneş enerji santralleri bulunmaktadır (Özbaşaran,2018).Türkiye'de ise Konya'da Karapınar YEKA-1 (756 MW), Ankara'da Naturel ve Esenboğa Enerji(118 MW), Kayseri'de Kayseri OSB (50 MW) olmak üzere bir çok bölgede güneş enerji santralleri bulunmaktadır.

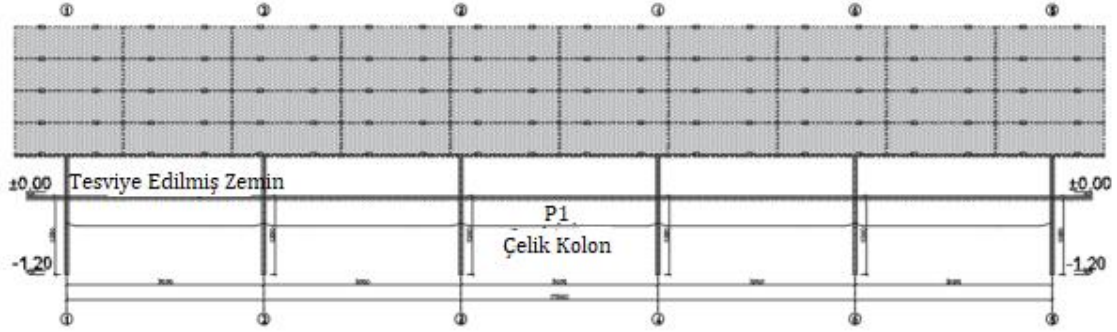
Güneş panelleri çatılara ve açık arazilere kurulmaktadır. Açık arazilere kurulan güneş panelleri alçak ve yüksek montaj olmak üzere iki şekilde inşa edilmektedir. Alçak montaj sistemlerinde paneller zemin yüzeyine yakinen, yüksek montaj sistemlerinde tarım ve hayvancılık gibi faaliyetlerin yapılmasına uygun olarak tasarlanmaktadır (Lutenegger, 2016).

Güneş paneli sistemlerinin temel tasarımında yerinde dökme beton kazık, prefabrik beton kazık, doldurulmuş temel, yerinde dökme pabuç tabanlı kazık, yerinde dökme beton kazık, zemin vidası tercih edilebilmektedir (Lutenegger, 2016). Güneş enerji santralleri ile ilgili elektrik ve mekanik yönden birçok çalışma yapılmış olup, bu çalışma kapsamında geoteknik tasarımı ile ilgili çalışmalar yapılmıştır.

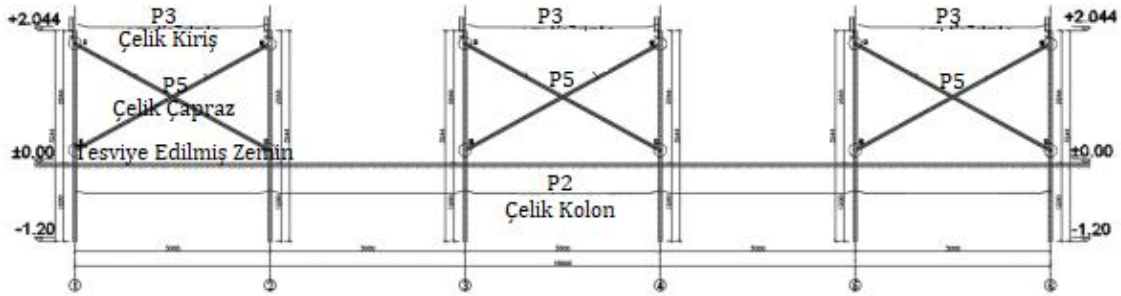
3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

3.1. Güneş Panel Sisteminin Özellikleri (Properties of Solar Panel System)

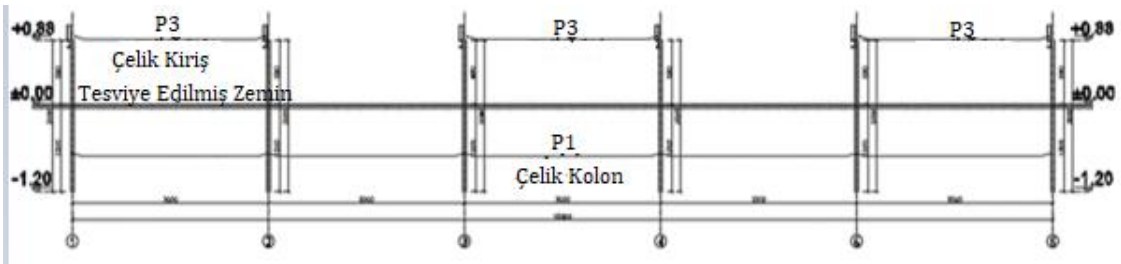
Bu çalışmada Ankara ili sınırları içinde kalan bir güneş enerji santrali için hazırlanmış tipik bir projenin detayları esas alınmıştır. Panel sistemi Şekil 3, Şekil 4, Şekil 5 ve Şekil 6'da verilen kesit geometrisi ve boyutları aynı 12 adet kazık ve 6 adet kiriş eleman ile diğer yardımcı elemanlardan (aşıklar ve çapraz elemanlar) oluşmaktadır. Şekil 6'da görüldüğü üzere güneş paneli sisteminde kısa kazıkların uzunluğu 2.08 m iken uzun kazıkların boyu 3.24 m'dir. Kazık soket boyu ise 1.20 m olarak belirlenmiştir. Kazık, kiriş, aşıklar ve çapraz elemanlara ait profil kesitleri Şekil 7'de verilmiştir. Kazık, kiriş ve aşıklar elemanlar S235JR çeliği ile çapraz elemanlar ise soğuk döküm çelik (S235C) olarak tanımlanmıştır, Tablo 1'de malzeme özellikleri verilmiştir.



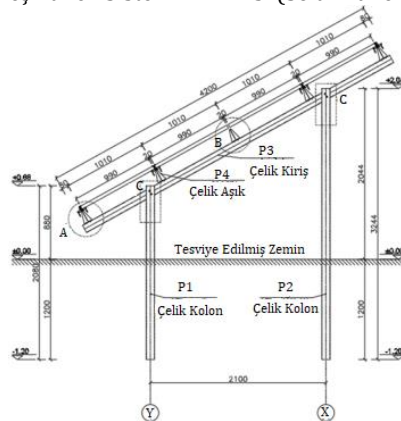
Şekil 3. Güneş Paneli Sistemi Ön Görünüşü (Solar Panel System Front View)



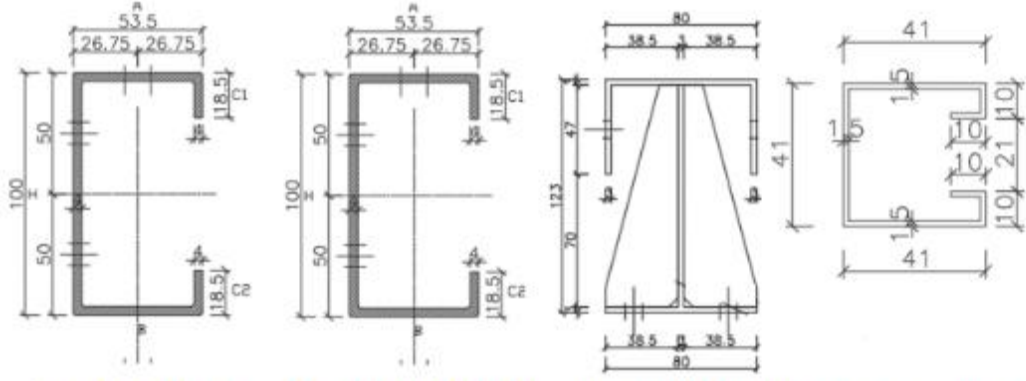
Şekil 4. Güneş Paneli Sistemi X-X Aksı (Solar Panel System X-X Axis)



Şekil 5. Güneş Paneli Sistemi Y-Y Aksı (Solar Panel System Y-Y Axis)



Şekil 6. Güneş Paneli Sistemi X-Y Aksı (Solar Panel System X-Y Axis)



(a)Kazık Eleman Detayı (b)Kiriş Eleman Detayı (c)Aşık Eleman Detayı (d)Çapraz Eleman Detayı

Şekil 7. Güneş Paneli Sistemi Yapısal Eleman Kesitleri (Solar Panel System Structural Element Sections)

Tablo 1. Çelik Elemanların Malzeme Özellikleri (Material Properties of Steel Elements)

Çelik Türü	f_{yk} (MPa)	E_p (MPa)
S235JR	235.36	210000
S235C	235.00	210000

3.2. Sisteme Etkiyen Yükler (Loads Acting on The System)

Güneş panellerine etkiyen farklı yükleme durumları söz konusudur. Rüzgâr ve kar yükleri TS 498'e göre hesaplanabilir. Panel üzerine etkiyen yükler panel yüzeyine düzgün yayılı yük olarak aktarılabilir ya da panelleri taşıyan aşık elemanlara çizgisel yük olarak uygulanabilir. Bu çalışmada yükler aşıklara çizgisel yük olarak uygulanmıştır. Güneş panellerinin sahip olduğu mevcut ısı nedeniyle üzerinde buz tabakasının oluşmayacağı varsayılmış, ayrıca sisteme etkimesi muhtemel deprem yükleri ihmal edilmiştir (Keçel, 2007). Panel yükleri hesaba katılırken güneş panellerinin boyutları dikkate alınmıştır. Bu çalışmada kullanılan paneller 1640×990 mm'dir ve ağırlığı ise 18.30 kg/adet'tir. Tablo 2'de sisteme etkiyen panel yükleri verilmiştir.

Tablo 2. Panel Yükleri (Panel Loads)

Panel Yüğü (kg/adet)	Panel Yüzey Alanı (m ²)	Panel Yüğü (kN/m ²)	İç / Dış Kirişlere Aktarılan Panel Yüğü (kN/m)
18.30	1.623	0.112	0.055 / 0.109

Kar yükleri hesaba katılırken tesisin bulunduğu coğrafi bölge önem kazanmaktadır. Tesis Konya ili sınırları içindedir ve bölgenin rakımı yaklaşık olarak 1200 m'dir. TS 498/EK-I il ve ilçelere göre zati kar yükü bölgeleri çizelgesi ve TS 498/EK-II'de verilen kar yağış yüksekliği haritasına göre söz konusu mevkii II. Bölge sınırları içinde yer almaktadır. Tablo 3'de 30°'lik çatı eğimi için kar yükü (P_k) değerleri verilmiştir.

Tablo 3. Kar Yükleri (Snow Loads)

P_{k0} (kN/m ²)	P_k (kN/m ²)	İç Kirişlere Aktarılan Kar Yüğü (kN/m)	Dış Kirişlere Aktarılan Kar Yüğü (kN/m)
1.155	1.155	1.143	0.571

Rüzgâr yükleri hesaba katılırken panel sisteminin zemin yüzeyinden yüksekliği dikkate alınır. Panel sisteminin yüksekliği 0-8 m arasındadır.

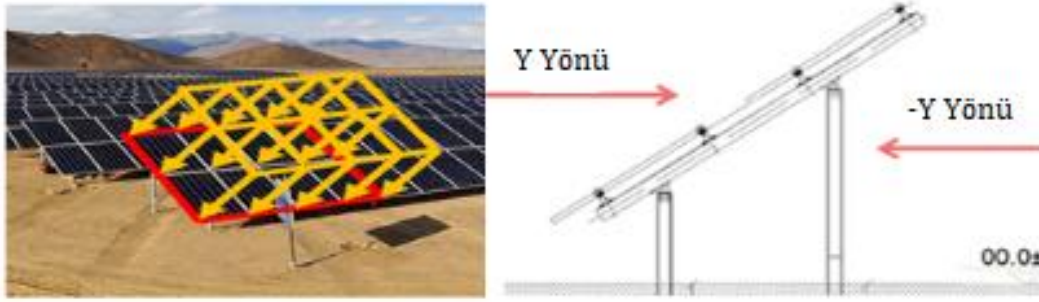
TS 498'den faydalanılarak panellere etkiyecek emme yükü (q) Tablo 4'ten 0.5 kN/m² olarak alınmış ve yapıya etkiyen rüzgâr yükleri Tablo 5'teki gibi hesaplanmıştır. Rüzgâr yükleri aşık elemanlara, normal eksenleri doğrultusunda Şekil 8'deki gibi basınç ve çekme olarak uygulanmıştır.

Tablo 4. Rüzgâr Yükünün Hesaplanması (Calculation of Wind Load) (TS 498,1997)

Zeminden Yükseklik (m)	Rüzgâr Hızı, v (m/s)	Emme, q (kN/m ²)
0-8	28	0.5
9-20	36	0.8
21-20	42	1.1
>100	46	1.3

Tablo 5. Rüzgâr Yükleri (Wind Loads)

Rüzgâr Yükü (kN/m)	+Y	-Y
İç kirişlere aktarılan	0.089	0.198
Dış kirişlere aktarılan	0.045	0.099

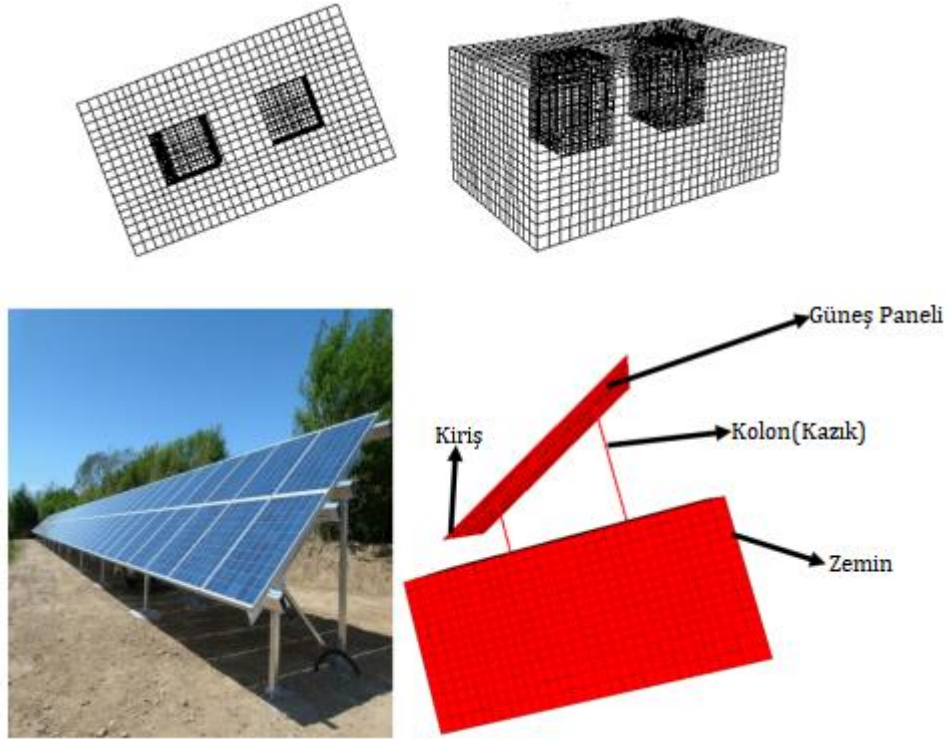
**Şekil 8.** Panele Etkiyen Rüzgâr Yükleri (Wind Loads Acting On The Panel)

3.3. Sayısal Modelin Oluşturulması (Constitution of the Numerical Model)

FLAC 3D yazılımı ile oluşturulan sayısal modelin oluşturulma aşamaları;

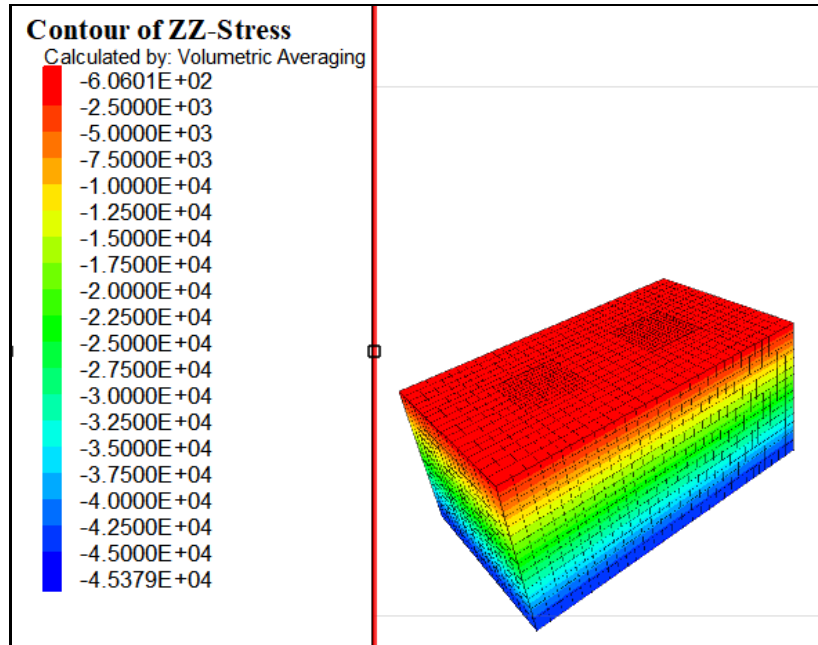
- Sonlu farklar ağının oluşturulması,
- Sınır koşullarının tanımlanması,
- Zemin ve yapısal elemanların özelliklerinin tanımlanması,
- Panel ayağı ile zemin ara yüzey özelliklerinin tanımlanması,
- Başlangıç gerilme durumunun tanımlanması,
- Yükleme durumlarının tanımlanması olarak sıralanabilir.

Şekil 6'da tanımlanan eksen takımına göre sayısal modelde zemin tabakasının kalınlığı x eksenine doğrultusunda 2.50 m olarak alınmıştır. Y ekseninin genişliği 3.00 m ve Z eksenine ise 5.00 m genişliğindedir. Zemine gömülü ayakların boyları değişkendir ancak referans analizde 1.20 m olarak alınmıştır. Zemin bünye modeli elastik-tam plastik Mohr-Coulomb olarak tanımlanmış olup, zemin modelinde yeraltı suyu bulunmamaktadır. Çelik profil elemanlar elastik kiriş (beam) olarak tanımlanmıştır. Güneş panelleri kabuk (shell) eleman olarak tanımlanmıştır. Model öncelikle zati ağırlığında yüklenerek başlangıç gerilme durumu oluşturulduktan sonra yapısal elemanlar aktif edilmiş ve sonrasında aşamalı olarak rüzgâr ve kar yükü sistem üzerinde aktif edilmiştir. Kazık ve zemin arasındaki etkileşim normal ve kayma doğrultusundaki yaylarla tanımlanmış ve ara yüzeyde rijit bağlantı olduğu kabul edilmiştir. Yapılan seri analizler bu kabulün mukavemet parametrelerinin %50'sine kadar düşürülmesi durumunda da geçerli olduğunu ve deplasman sonuçları üzerinde önemli bir etkisinin olmadığını göstermektedir. Tüm bu aşamalar neticesinde elde edilen ve bu çalışma kapsamında analiz edilen model Şekil 9'da verilmektedir. Panel sisteminin temellerini oluşturan kazıklar etrafındaki elemanlar sıklaştırılmıştır.



Şekil 9. Sayısal Modelin Üç Boyutlu Görüntüsü (Three Dimensional View of the Numerical Model)

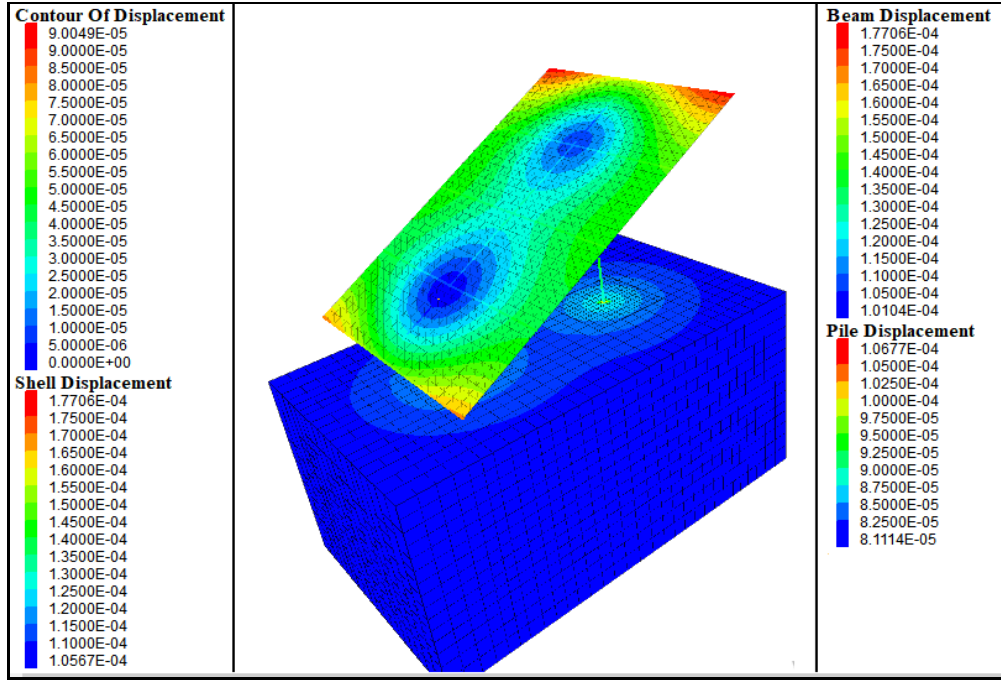
Zemin ortamında gerilme koşulları, düşey gerilme σ_v ve zeminin sükûnetteki toprak basıncı katsayısı K_0 ile hesaplanan yatay gerilme değeri σ_h ile tanımlanmaktadır. FLAC 3D programında ise birim hacim ağırlık ve yer çekimi ivmesine bağlı olarak z doğrultusundaki başlangıç gerilme durumu hesaplanmıştır. Başlangıç düşey efektif gerilme dağılımı Şekil 10'da verilmiştir.



Şekil 10. Başlangıç Düşey Efektif Gerilme Dağılımı Üç Boyutlu Görüntüsü (Three Dimensional View of Initial Vertical Effective Stress Distribution)

Zemin tabakaları ve yapısal elemanları tanımlamak için elasto-plastik Mohr-Coulomb bünye modeli seçilmiştir. Mohr-Coulomb gibi izotropik malzeme modelleri, zemin davranışını tanımlamak bakımından birçok uygulamada başarıyla kullanılmaktadır. Buna ilaveten yapısal elemanlarla etkileşim halindeki zemin modellerinde Mohr-Coulomb bünye modeli sıklıkla kullanılmaktadır (Gürgüç, 2013).

Yapısal elemanların geometrisini tanımlamak için öncelikle vektör elemanlar oluşturulur ve bu elemanlara bağlı olarak kazık, kiriş ve güneş paneli geometrisi bir vektör elemandan başlatılıp diğer vektör elemanla sonlandırılarak tamamlanır. Analizde öncelikle zati yükler altında denge koşulu aranır, dengeye ulaşıldıktan sonra deplasmanlar sıfırlanır (Itasca, 2002). Denge koşulunun sağlanması Şekil 11’de verilmiştir. Panel sistemine etkiyen yükler ise Şekil 12’de verilmektedir; X ve Y doğrultularında rüzgâr yükleri ile Z doğrultusundaki kar yükü uygulanmıştır.



Şekil 11. Denge Durumunun Sağlanması (Providing A State of Balance)

Arazide gerçekte inşa edilecek güneş paneli projesi ile yapılacak olan analizlerin değerlendirmelerini yapabilmek için söz konusu projenin hesap raporlarına bağlı kalınmıştır. Çelik yapıların hesap ve yapım kurallarının yer aldığı TS 648’de tanımlanan yük kombinasyonları kullanılarak seri sayısal analizler yürütülmüştür. Yük kombinasyonları D: zati yük, S: kar yükü ve W: rüzgâr yükü olacak şekilde tanımlanmaktadır.

- D, D+S, D+S+0.5W, D+S-0.5W, D+0.5S+W, D+0.5S-W, D+W, D-W



(a)



(b)



(c)

Şekil 12. (a) X Doğrultusundaki Rüzgâr Yüğü (Wind Load In The X Direction), (b) Y Doğrultusundaki Rüzgâr Yüğü (Wind Load In The Y Direction) , (c) Yer Çekimi Doğrultusundaki Kar Yüğü (Snow Load In The Gravity Direction)

4. Sayısal Model Sonuçları (Numerical Model Results)

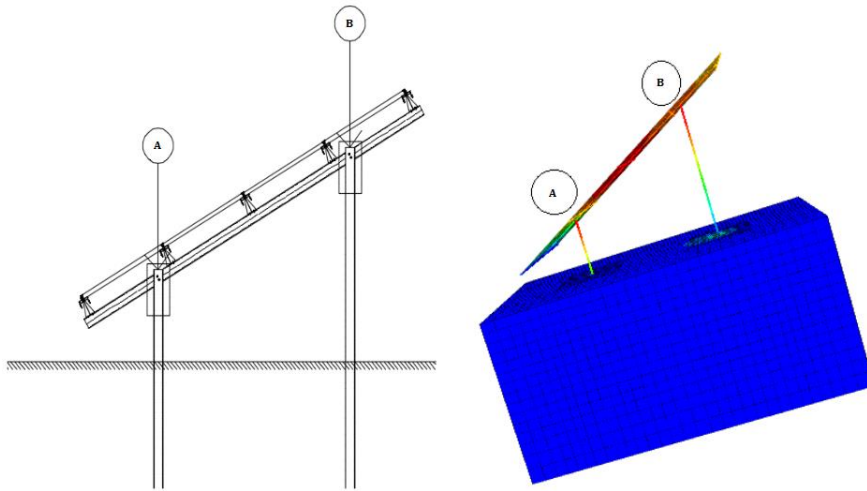
4.1. Referans Analizler (Reference Analyses)

Analizlerde elastisite modülü, kayma mukavemeti açısı, kar yükü, rüzgâr yükü değerlerinin ve soket boyunun güneş panelinin kazık elemanlarında oluşacak deplasman büyüklüğüne etkisini belirlemek ve daha sonra yapılan parametrik değişimlerin sonuçlarını tek bir analizle kıyaslayabilmek amacıyla referans model oluşturulmuştur. Bu modelde kullanılan yapısal ve geoteknik parametreler referans parametreler olarak tanımlanmış ve Tablo 6'da

verilmiştir. Güneş panellerini taşıyan çelik kazık elemanda oluşan deplasman Şekil 13'te verilen A ve B noktaları için takip edilmiştir.

Tablo 6. Referans Analiz Parametreleri (Reference Analysis Parameters)

Elastisite Modülü (Pa)	4.10 ⁷
Poisson Oranı	0.30
Birim Hacim Ağırlık (kg/m ³)	2.10 ³
Kayma Mukavemeti Açısı (°)	30.00
Kohezyon (Pa)	0.00
Kar Yüğü (Pa)	115.00
(+) Rüzgâr Yüğü (Pa)	100.00
(-) Rüzgâr Yüğü (Pa)	200.00
Normal Ve Kayma Doğrultusundaki Yayın Birim Uzunluk Rijitliği (N/m ²)	1,3.10 ⁹
Normal Ve Kayma Doğrultusundaki Yayın Kayma Mukavemeti Açısı (°)	30.00

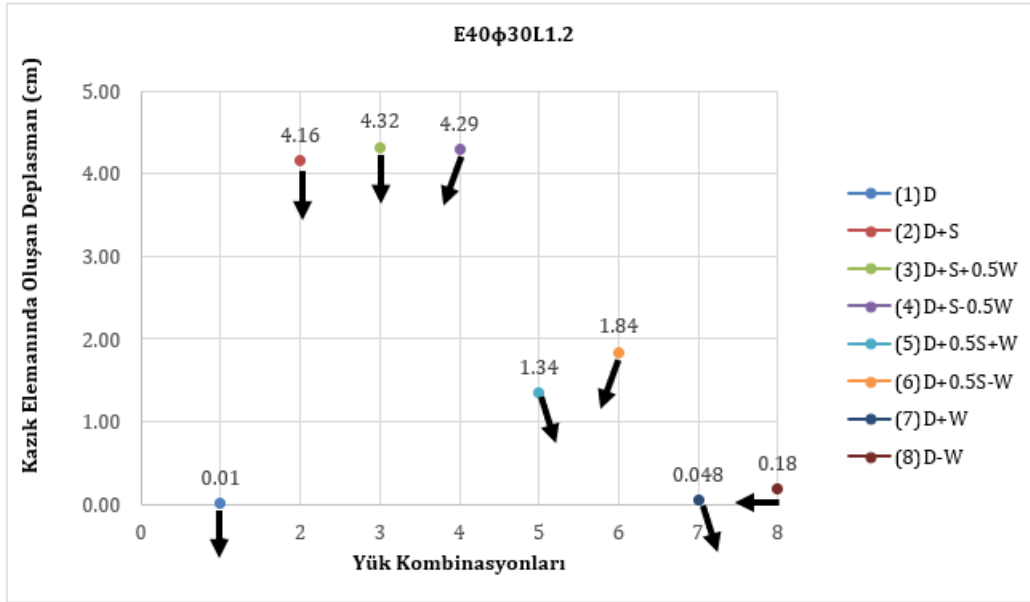


Şekil 13. Kazık Elemanı Deplasmanlarının Hesaplandığı A Ve B Noktaları (Points A And B Which Pile Element Displacements Are Calculated)

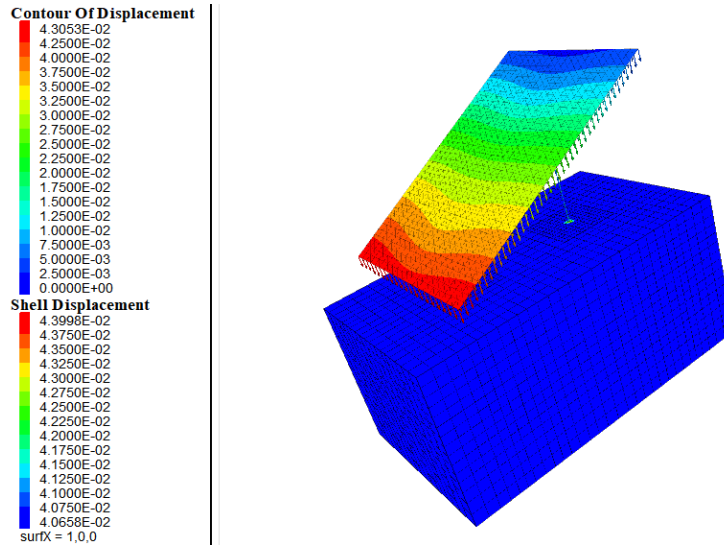
Kar yükünün etkili olduğu D+S (4.16cm), D+S+0.5W (4.32cm), D+S-0.5W (4.29cm) yükleme kombinasyonlarında panelleri taşıyan kazık elemanında oluşan deplasman değerleri diğer yük kombinasyonlarına göre nispeten daha fazladır. Şekil 14'te deplasman değerlerinin yanındaki okların yönü, toplam deplasmanların vektörel olarak doğrultusunu göstermektedir. Şekil 14'teki analizlerde kar yükü (1S) 115 Pa olup, basınç yönünde rüzgâr yükü (0.5W) 100 kPa, çekme yönünde rüzgâr yükü (-0.5W) 200 kPa olarak etki ettirilmiştir.

Basınç yönünde rüzgâr yükünün bulunduğu D+W yükleme kombinasyonunda deplasman diğer kombinasyonlara göre daha az (0.048 cm) hesaplanmıştır.

Aşağı yönde mobilize olan deplasmanlar kazık elemanın zemin içerisine doğru battığını ifade etmiş olup deplasmanın büyüklüğüne bağlı olarak farklı oturmalara neden olacaktır (Davisson, 1960). Yatay yönlü olan deplasmanlar ise deplasmanın büyüklüğüne bağlı olarak kazık elemanın zeminden sıyrılmasına neden olup çelik ayakların etrafında zamanla boşluk oluşumuna neden olacaktır (Duncan vd., 1994). Şekil 15'te 1D1S0.5W (4.32cm) yükleme kombinasyonundaki deplasman görüntüsü verilmiştir.



Şekil 14. Referans Parametrelerle Yapılan Analizlerden Elde Edilen Deplasman Değerleri (Displacement Values Obtained From Analysis With Reference Parameters)



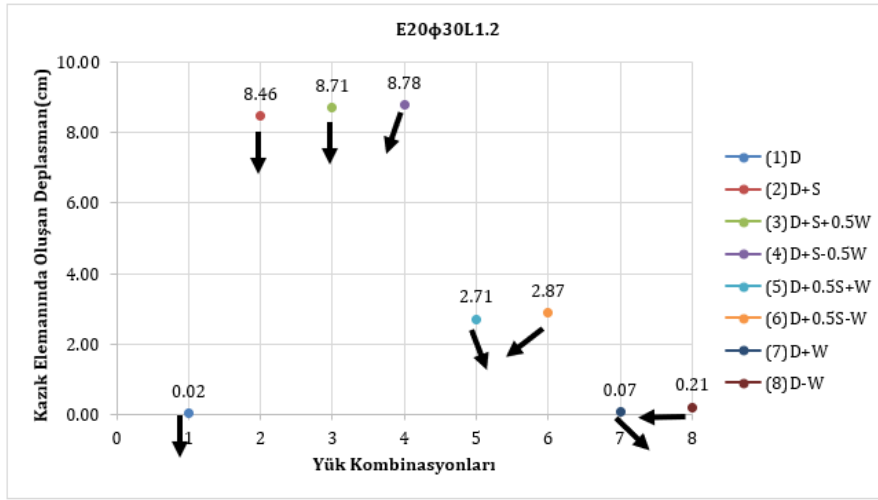
Şekil 15. (3) 1D1S0.5W Yük Kombinasyonunda Güneş Panelinde Oluşan Deplasmanlar (Displacements of Solar Panel In (3)1D1S0.5W Load Combination)

4.2. Elastisite Modülünün Etkisi (Effect of Modulus of Elasticity)

Elastisite modülünün kazık elemanında oluşan deplasmana etkisini anlamak için elastisite modülü değerinin $2 \cdot 10^7 \text{ Pa} = 20 \text{ MPa}$ olduğu analizler yapılmıştır. Referans analizlerle ($E = 4 \cdot 10^7 \text{ Pa} = 40 \text{ MPa}$) karşılaştırıldığında deplasmanlar Şekil 16'da görüldüğü üzere modül değerindeki azalışla ters orantılı şekilde iki kat doğrusal artış göstermiştir. D+W, D-W kombinasyonlarında elastisite modülü değişimine bağlı olarak deplasmanlar birbirine yakın değerlere sahiptir.

Bunun sebebi bahsi geçen yüklemelerde kar yükünün sıfır olmasına bağlı olarak rüzgâr yükü nedeniyle sağa ve sola eğilen panel sisteminde oturma gözlenmemesidir. Elastisite modülünün sonuçlar üzerinde son derece etkili olduğu anlaşılmaktadır.

Özellikle, güneş panel sistemlerinde soket boylarının 1-2 m civarında olduğu düşünüldüğünde, zemin yüzeyine bu kadar yakın konumlanan çelik kazıklar için klasik zemin etütleri ile elastisite modülü tahmin etmenin ne kadar zor olduğu da düşünüldüğünde tanımlanan modül değerinin güvenli tarafta sonuçlar verecek şekilde yüksek seçilmesinin tasarım bakımından riskli olacağı sonucuna ulaşılmıştır.

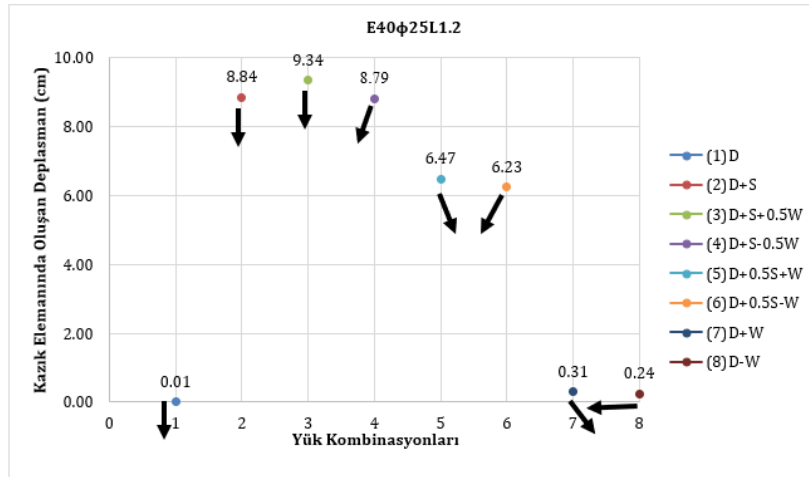


Şekil 16. Elastisite Modülü Değerinin 2.10^7 Pa Olduğu Analizler (Analysis With A Modulus of Elasticity 2.10^7 Pa)

4.3. Kayma Mukavemeti Açısının Etkisi (Effect of Angle of Shearing Resistance)

Zeminin kayma mukavemeti açısı değerinin kazık elemanında oluşan deplasmana etkisini belirlemek için $\phi = 25^\circ$ için analizler yapılmıştır. Kayma mukavemeti açısının $\phi = 30^\circ$ olduğu referans analizlerle karşılaştırıldığında Şekil 17'de görüldüğü üzere deplasman değerleri beklenildiği gibi artmaktadır. Kayma mukavemeti açısının 5° azalması durumunda;

- Kar yükünün etkili olduğu D+S, D+S+0.5W, D+S-0.5W yük kombinasyonlarında kazık elemanında oluşan deplasmanlar 2 kata kadar artışa neden olurken,
- Rüzgâr yükünün etkili olduğu D+0.5S+W, D+0.5S-W, D+W, D-W yük kombinasyonlarında 3-6 kata kadar artışa neden olmaktadır.
- Rüzgar yükünün etkin olduğu yükleme durumlarında özellikle soket kazıklardaki çekme ve basınç etkisiyle deplasmanlarda önemli seviyelerde artış olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Boyları birkaç metreye ancak ulaşan çelik profil soket kazıkların etrafındaki zeminin kayma mukavemeti parametrelerinin panel sisteminde gözlenen deplasmanların seviyesini ne kadar değiştirebildiği aşikardır.

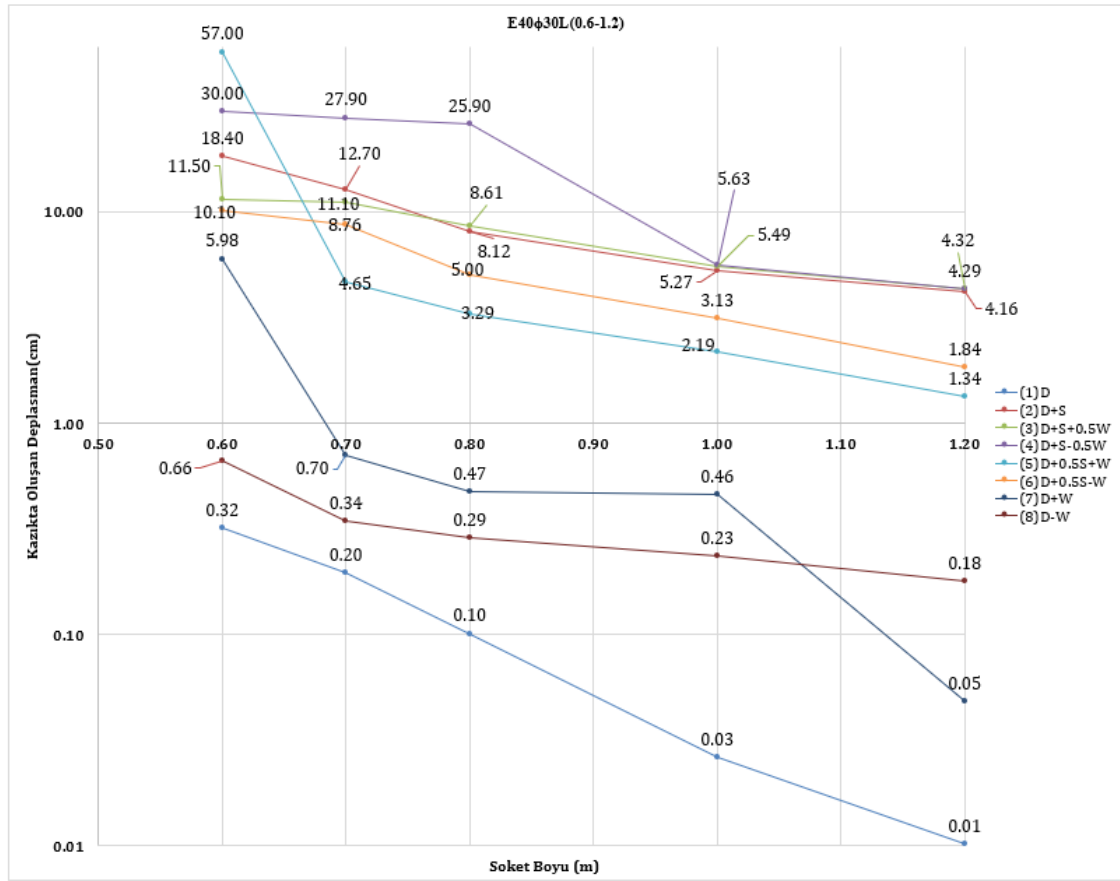


Şekil 17. Kayma Mukavemeti Açısının 25° Olduğu Analizler (Analysis Where Shear Strength Angle Is 25°)

4.4. Soket Boyu Değişimi (Socket Length Effect)

Zemin ve zemin-kazık ara yüzey parametrelerini değiştirmeden kazık soket boyunun kazık elemanında etkisini anlamak için soket boyunun 0.60 m, 0.70 m, 0.80 m, 1.00 m, 1.20 m olduğu analizler yapılmıştır. Kazığın soket boyu arttıkça kazığın zemine gömülü bölümünde sürtünme direnci artacak ve buna bağlı olarak kazık üzerine gelen yükler kazığın soketi boyunca karşılandığı için kazıklar üzerindeki deplasmanlar daha az olacaktır. Şekil 18'de görüldüğü üzere soket boyunun azalması ile birlikte aynı yük kombinasyonu için güneş paneli ayaklarında hesaplanan deplasman değerleri de artmaktadır. Örneğin 4 no.lu yük kombinasyonunda 100 cm soket için

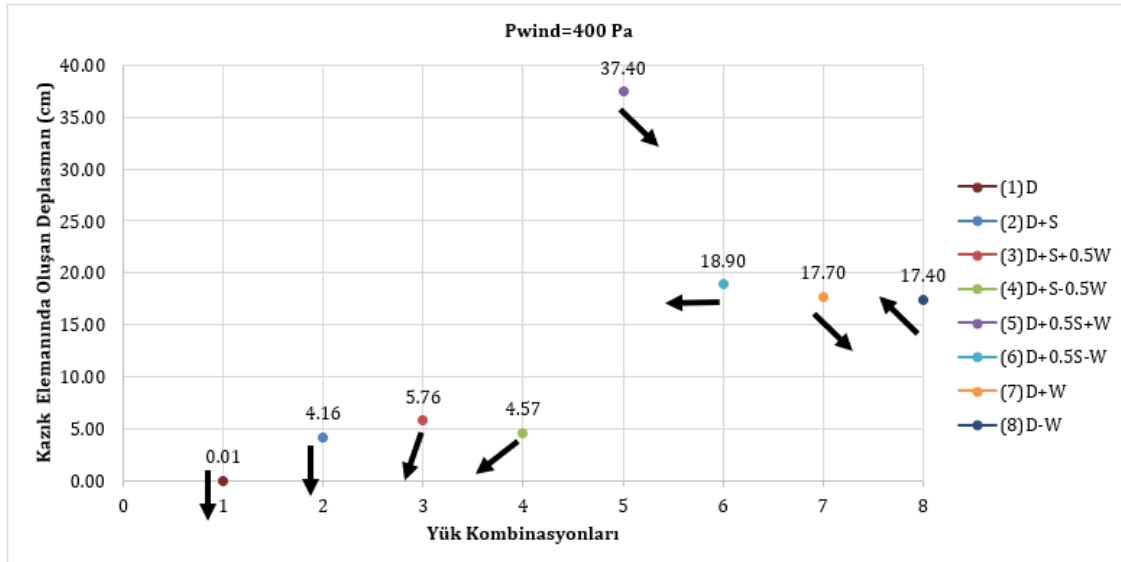
hesaplanan deplasman değeri 5.63 cm iken socketin 60 cm'ye düşmesi durumunda 30 cm deplasman hesaplanmıştır ki bu durum göçmenin gerçekleştiğini göstermektedir.



Şekil 18. Soket Boyu-Deplasman Grafiği (Socket Length - Displacement Graph)

4.5. Rüzgâr Yükü Etkisi (Wind Load Effect)

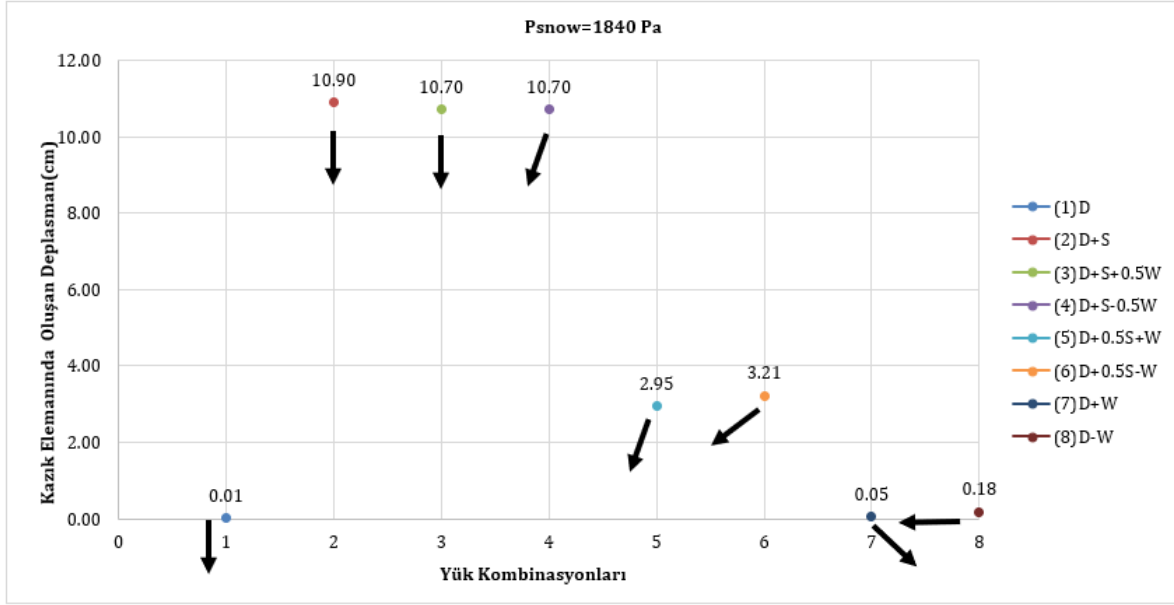
TS 498 esaslarına uyularak Konya ili referans alınarak yapılan hesaplarda rüzgâr yükü y yönünde 100 Pa, -y yönünde 200 Pa elde edilmiştir. Daha yüksek rüzgâr yüklerindeki etkiyi anlayabilmek için ise y yönünde 400 Pa, -y yönünde 400 Pa olan ilave analizler de yapılmıştır. Referans durumdaki analizler (+y yönünde 100 Pa, -y yönünde 200 Pa) ile karşılaştırıldığında ±y yönünde 400 Pa yükleme durumunda Şekil 19'da D+W ve D-W kombinasyonlarında panel sisteminde deplasmanlar hızla artmış ve sistem göçmüştür.



Şekil 19. Rüzgâr Yükünün 400 Pa Olduğu Analizler (Analysis Where Wind Load Is 400 Pa)

4.6. Kar Yükü Etkisi (Snow Load Effect)

Kar yükünün etkisini anlamak için en olumsuz koşulu temsil eden IV numaralı bölgeye denk gelen Erzurum şehri için kar yükü 1840 Pa olarak hesaplanmış ve sayısal model üzerinde analizler yapılmıştır. Bu analizlerden elde edilen sonuçlar Konya şehri için yapılan referans analizler ile karşılaştırılmıştır. Kar yükünün etkili olduğu D+S, D+S+0.5W, D+S-0.5W kombinasyonlar için referans analizlerde (115 Pa) kazık elemanında oluşan düşey deplasmanlar sırasıyla 4.16 cm, 4.32 cm, 4.29 cm iken 1840 Pa kar yükünün etkili olduğu analizlerde Şekil 20'de görüldüğü üzere 2.5 kat artmıştır.



Şekil 20. Kar Yükünün 1840 Pa Olduğu Analizler (Analysis of Snow Load of 1840 Pa)

5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Bu çalışma kapsamında, güneş paneli sistemini oluşturan tüm yapısal elemanlar, zemin profili, yük ve yük kombinasyonları FLAC3D yazılımında tanımlanarak, güneş paneli sistemi modellenmiştir. Güneş paneli sisteminin hem yapısal hem de geoteknik özellikleri tanımlanarak etkileşimli tam bir model oluşturulmuştur. Oluşturulan modelde çeşitli değişkenlere bağlı olarak kazık elemanların deplasman davranışları incelenmiştir. Deplasmanların artması zamanla panel yüzeylerinde kılcal çatlakların oluşmasını ve panel veriminin düşmesini tetiklemektedir.

- Elastisite modülü ve kayma mukavemeti açısının etkisinin irdelendiği analizlerde beklenildiği gibi her iki parametredeki azalmalar deplasmanları artırmaktadır. Ancak özellikle kar ve rüzgâr yükleri altında bu artışların çok daha ciddi seviyede olduğu anlaşılmaktadır. Referans analizlerdeki ($E=4.10^7\text{Pa}=40\text{MPa}$) tüm kombinasyonlarda deplasmanlar 0.01- 4.32 cm iken elastisite modülünün $2.10^7\text{Pa}=20\text{MPa}$ olduğu analizlerdeki tüm kombinasyonlarda deplasmanlar 0.02-8.78 cm olup, ters orantılı olarak iki kat doğrusal artış göstermektedir. Referans analizlerde ($\phi=30^\circ$) rüzgâr yükünün etkili olduğu D+0.5S+W, D+0.5S-W, D+W, D-W yük kombinasyonlarında deplasmanlar 0.05-1.84 cm iken kayma mukavemeti açısının 25° olduğu yük kombinasyonlarında 0.24-6.47 cm olup 3-6 kata kadar artışa neden olmaktadır. Güneş paneli sistemlerinin çelik kazıklar üzerinde tesis edildiği temel sistemlerinde birkaç metre boyundaki soketlerin etrafındaki zeminler için modül ve mukavemet parametrelerinin belirlenmesi gerekir. Bu tip tesisler için yapılacak zemin etütlerinde daha sığ derinlikler için daha detaylı bir inceleme yapılması gerekmektedir.
- Soket boyu etkisinin irdelendiği analizlerde kazığın soket boyu arttıkça zemine gömülü bölümünde sürtünme kuvveti artmaktadır. Buna bağlı olarak kazık üzerine gelen yükler kazığın soketi boyunca karşılandığından kazığın soket boyu arttıkça deplasmanlar daha düşük gözlenmiştir.
- Rüzgâr yükü değişikliğine bağlı olarak yapılan analizlerde $\pm y$ yönündeki rüzgâr etkisi arttıkça rüzgâr yükünün etkin olduğu kombinasyonlarda (D+W ve D-W) panel sisteminde deplasmanlar hızla artmış ve sistem göçmüştür. Güneş paneli sistemleri etrafı açık bir yapıya sahip olduğu için bu sistemlerde paraşüt etkisi mutlaka incelenmelidir. Bu konuda yeni çalışmalar güneş panelleri için en kritik yükleme durumunun rüzgâr ve kar yükleri olduğunu göstermektedir.

- Amerika Birleşik Devletleri'nin Colorado eyaletinde yapılan güneş panellerinde ASCE/SEI 7-10 (IBC 2012)'e göre rüzgâr hızı 51.75 m/s, basınç yönündeki rüzgâr yükü 289Pa, çekme yönündeki rüzgâr yükü 2681 Pa olarak hesaplanmıştır. TS 498'de güneş paneli yüksekliğine bağlı olarak 0.00-8.00 m yapılar için 28 m/s olarak alınmaktadır. Buna bağlı olarak basınç yönündeki rüzgâr yükü 100Pa, çekme yönündeki rüzgâr yükü 200 Pa olarak hesaplanmaktadır. ASCE tarafından alınması önerilen rüzgâr hızı değerleri TS 498 ile hesaplan değerlere göre daha fazladır. TS 498' de rüzgâr hızı sadece yapı yüksekliğine bağlı olarak tanımlanmaktadır. Rüzgâr hızının bölgesel olarak yapılan ölçümlere göre belirlenmesi daha sağlıklı olacaktır. Ülkemizde güneş paneli sistemi tasarımında kullanılan yükler TS 498 tarafından önerilen değerler alınarak yapılmakta ve bu nedenle güvensiz tarafta kalan sonuçlar elde edilmektedir.
- Kar yükündeki değişikliğe bağlı olarak yapılan analizlerde, kar yükünün artırılması sonucu deplasmanlar beklenildiği gibi artmaktadır. Deplasmanlar kar yükü etkisinden dolayı sistemde oturmaya sebep olacaktır. Oturmalar ihmal edilebilir değerlerin üzerinde ise çevre sürtünmesinin ve uç direncinin taşıdığı yükler ayrı değerlendirilmelidir. Kazıkta meydana gelen oturma değeri, kazık gövdesinin elastik sıkışması, gövde etrafındaki zeminin elasto-plastik deformasyonu ile kazık altındaki zeminin sıkışmasının etkileşimi ile hesaplanmalıdır.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

Kaynaklar (References)

- Akdağ O. ve Yeroğlu C., 2019, Malatya Yöresi İçin Örnek Bir Güneş Santrali Modelinin Benzetimi Ve Şebekeye Etkilerinin İncelenmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarımı Dergisi, 7(3),552-560.
- Çıkılı, E.B., 2017, Güneş Panellerinin Temel Tasarımında Mevcut Yöntemlerin Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Minimum Design Loads For Buildings And Other Structures, American Society Of Civil Engineers, [ASCE/SEI 7-10],2010.
- International Building Code 2012. Country Club Hills, Ill.: International Code Council, Inc., [IBC 2012],2011
- Davisson, M. T., 1960, Behavior of Flexible Vertical Piles Subjected to Moment, Shear, and Axial Load, University of Illinois at Urbana-Champaign.
- Duncan, J., Evans, L. ve Ooi, P. 1994, Lateral Load Analysis of Single Piles and Drilled Shafts. Journal of Geotechnical Engineering, 120(6), Sf. 1018-1033.
- Girgin, M.H., 2011, Bir Fotovoltaik Güneş Enerji Santralinin Fizibilitesi, Karaman Bölgesinde 5 MW'lık Güneş Enerjisi Santrali İçin Enerji Üretim Değerlendirmesi Ve Ekonomik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Enerji Enstitüsü.
- Güner S. ve Yazıcı S., 2022, Bir Güneş Enerji Sisteminin Dağıtım Sistemi Güvenilirliğine Etkilerinin İncelenmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi,10(2),538-549.
- Gürgüç, S.B., 2013, İki Doğrultuda Yatay Yüklü Kazık Grupları İle İlgili Bir İnceleme, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Itasca, 2002, Flac3D Fast Lagrangian Analysis of Continua in 3 Dimensions User's Guide.
- Kalogirou, S.A., 2013, Solar energy engineering: processes and systems, Academic P.ed.
- Keçel, S., 2007, Türkiye'nin Değişik Bölgelerinde Evsel Elektrik İhtiyacının Güneş Panelleriyle Karşılmasına Yönelik Model Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Lutenegger, A.J., 2016, Foundation Alternatives for Ground Mount Solar Panel Installations, Geotechnical and Structural Engineering Congress 2016 1873–1885.
- Özbaşaran, B.,2018, Güneş Panellerinde Kullanılan Helisel Kazıkların Tasarımında Sayısal Yaklaşımların Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- TS 498, 1997, Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri.
- TS 648, 1980, Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları.
- Varınca, K.B., Gönüllü, M.T., 2006, Türkiye'de Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Bu Potansiyelin Kullanım Derecesi, Yöntemi ve Yaygınlığı Üzerine Bir Araştırma, I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi 270–275.



AKIMSIZ KAPLAMA YÖNTEMİYLE NİKEL ESASLI METALİK KAPLAMALARIN ÜRETİMİ

Gülşen TOPAL^{1*}, Banu ESENCAN TÜRKASLAN¹

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

Anahtar Kelimeler

*Metal Kaplama,
Akımsız Kaplama,
Nikel Esaslı,
Korozyon Direnci,
Kompozit.*

Öz

Endüstriyel ortamda ve zorlu çevre koşullarında çalışan metal malzemelerin yüzeyleri zamanla ortamdaki etkenlere bağlı olarak bozulmaktadır. Yüzeyi bozulan metal malzemeler hem korozyon direnci hem de mekanik özelliklerini kaybetmiş olur. Yüzey özelliklerinin geliştirilmesinde tercih edilen yöntemlerden biri metal kaplama uygulamasıdır. Metal kaplamalar, hem mekanik özellikleri iyileştirmek hem de korozyon nedeniyle malzeme kaybını önlemek amacıyla uygulanmaktadır. Metal kaplama yöntemlerinden olan akımsız kaplama, elektrik akımı olmadan bir indirgeme maddesiyle sulu çözeltiden metalik iyonun katalitik olarak indirgenip metalin yüzeyinde biriktirilmesine dayanan kimyasal indirgeme işlemidir. Akımsız kaplama yöntemiyle; altın, nikel, bakır, gümüş gibi birçok metal kaplanabilmektedir. Endüstride en yaygın tercih edilen kaplama türü sahip olduğu kimyasal, fiziksel ve mekanik özelliklerinden dolayı akımsız nikel kaplamadır. Ayrıca bu yöntem metal kaplama çalışmalarında çoklu alaşım ve kompozit kaplamaların üretilmesini popüler hale getirmektedir. Bu çalışmayla, alüminyum malzeme yüzeyine akımsız nikel kaplama işlemi uygulanmış olup kaplama prosesi için belirlenen çalışma parametrelerinin kaplama kalınlığına, yapışma mukavemetine ve korozyon direncine etkisi incelenmiştir.

PRODUCTION OF NICKEL BASED METALLIC COATINGS BY ELECTROLESS COATING METHOD

Keywords

*Metal Coating,
Electroless Coating,
Nickel-based,
Corrosion Resistance,
Composite.*

Abstract

The surfaces of metal materials working in industrial environments and harsh environmental conditions deteriorate over time depending on the factors in the environment. Metal materials whose surface deteriorates lose both their corrosion resistance and mechanical properties. One of the preferred methods for improving surface properties is metal coating application. Metal coatings are applied both to improve mechanical properties and to prevent material loss due to corrosion. Electroless plating, which is one of the metal plating methods, is a chemical reduction process based on the catalytic reduction of the metallic ion from the aqueous solution with a reducing agent without electric current and its deposition on the surface of the metal. Many metals such as gold, nickel, copper, silver can be coated with electroless plating method. Electroless nickel plating is the most commonly preferred type of plating in the industry due to its chemical, physical and mechanical properties. In addition, this method makes the production of multi-alloy and composite coatings popular in metal coating works. In this study, electroless nickel plating process was applied to the aluminum material surface and the effects of the working parameters determined for the coating process on the coating thickness, adhesion strength and corrosion resistance were investigated.

Alıntı / Cite

Topal, G., Esencan Türkaslan, B., (2023). Akımsız Kaplama Yöntemiyle Nikel Esaslı Metalik Kaplamaların Üretimi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(3), 1001-1008

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

G. Topal, 0000-0003-4588-253X
B. Esencan Türkaslan, 0000-0003-3948-6207

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	14.05.2023
Revizyon Tarihi / Revision Date	01.06.2023
Kabul Tarihi / Accepted Date	02.06.2023
Yayın Tarihi / Published Date	28.09.2023

* İlgili yazar / Corresponding author: yl2230151901@ogr.sdu.edu.tr

PRODUCTION OF NICKEL BASED METALLIC COATINGS BY ELECTROLESS COATING METHOD

Gülşen TOPAL^{1†}, Banu ESENCAN TÜRKAŞLAN¹

¹ Süleyman Demirel University, Faculty of Engineering, Department of Chemical Engineering, Isparta, Türkiye

Highlights

- In this study, nickel plating was applied to the metal material surface by electroless plating method.
- This method is applied to provide corrosion resistance to the material against corrosive effects.
- Nickel plating is preferred because of its mechanical effects and easy applicability.

Purpose and Scope

The purpose of the paper is to improve the mechanical properties of aluminum materials, electroless nickel plating was applied and the effects of working parameters on the material were investigated.

Design/methodology/approach

In this study, electroless nickel plating method, which is one of the metal plating methods, was used. Uniform coating was applied on aluminum with optimum parameter conditions used in this method. Thanks to the improvements made in the mechanical properties of aluminum, a pioneering work has been presented to the studies to be done in the coating industry.

Findings

In the study, the corrosion resistance of the material was increased by electroless nickel plating applied to the aluminum material and improvements were made in the adhesion strength.

Research limitations/implications

With the processing methods used in this study, the use of electroless nickel plating will be effective in composite coatings to be made on metal materials in the coating industry.

Originality

Since the adhesion strength of the coatings on aluminum is low, it is not preferred in the coating area. Thanks to this study, optimum conditions were determined in the parameters of bath concentration, bath temperature, coating time and its applicability on aluminum material was proven.

1. Giriş (Introduction)

Alüminyum malzemeler, hafif, dayanıklı ve korozyona karşı dirençli olmaları nedeniyle birçok endüstriyel uygulamada yaygın olarak kullanılmaktadır. Alüminyum metali, doğal olarak havadaki oksijenle reaksiyona girmesi sonucu yüzeyinde alüminyum oksit tabakası oluşturur. Bu tabaka, alüminyum yüzeyini çevresel etkenlere karşı korur ve paslanmasını geciktirir (Paz Martínez-Viademonte vd., 2020). Ancak, bazı durumlarda alüminyum yüzeyinde bozulma veya paslanma meydana gelebilir. Alüminyum yüzeyindeki bozulma; kimyasal kirlilik, fiziksel hasar, elektrokimyasal reaksiyonlar sonucu oluşmaktadır (Burleigh, 2003). Bu etkenlere bağlı olarak alüminyum oksit tabakası hasar görür ve metal yüzeyinde deformasyon başlar. Metal malzemenin ömrünü ve kalitesini arttırmak, çalışma ortamında olumsuz çevre şartlarından etkilenmemesi ve mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi için alüminyum yüzeylere metal kaplama uygulaması tercih edilmektedir (Tracon, 2007).

Günümüzde, birçok endüstriyel uygulamada metal yüzeylerin kaplanması yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu kaplamalar, malzeme ömrünü uzatmak, yüzey koruması sağlamak, estetik görünümünü ve işlevselliği arttırmak gibi birçok avantaj sağlamaktadır. Bu nedenle, kaplama teknolojileri her geçen gün daha da önem kazanmaktadır. Metal kaplama birçok farklı yöntemle gerçekleştirilebilir. En yaygın kullanılan yöntemler; elektro kaplama, sprey kaplama, vakum kaplama, kimyasal kaplama ve daldırma kaplamadır (Krishnan vd., 2006). Bu yöntemlerden her biri, farklı malzemeler ve uygulama gereksinimleri için idealdir. Kaplama malzemesi seçimi, kaplama işleminin amacına, malzeme özelliklerine ve kullanım koşullarına bağlıdır.

[†] Corresponding author: yl2230151901@ogr.sdu.edu.tr

Mühendislik uygulamalarında akımsız yöntemle yapılan kaplamalarda metal yüzeyinin iletken hale getirilmesi önemli bir uygulama alanı bulmuştur. Metal malzemenin kullanılacağı yere ve yüzeyden istenen özelliğe bağlı olarak çeşitli akımsız kaplama uygulamaları ile karşılaşmaktadır (Krishnan vd., 2006). Akımsız kaplama yöntemi, yüzeyin elektrokimyasal olarak kaplanması yerine kimyasal olarak kaplanması işlemidir. Bu yöntemde tercih edilecek alaşım türü metal yüzeyinden istenen özelliğe bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Nikel esaslı metal kaplamalar hem akımsız yöntemle uygulanan hem de alüminyum metalinin yüzey koruması ve özelliklerinin iyileştirilmesi için sıklıkla tercih edilen bir kaplama yöntemidir. Nikel kaplama, alüminyum malzemelerin oksidasyonuna karşı direnç sağlamakta, aynı zamanda yüzey sertliğini ve aşınma direncini arttırmaktadır (Sharma vd., 2002).

Metal kaplama sektöründe yaygın olarak kullanılan nikel esaslı akımsız kaplamalar Ni-P kaplamalar olarak da bilinmektedir. Bu kaplama türü elektrolitik kaplamaya kıyasla birçok avantaj sunar ve çeşitli endüstrilerde kullanılır (Hashmi, 2014). Akımsız Ni-P kaplamalar, elektrolitik kaplamaya göre daha homojen ve daha kaliteli kaplama yüzeyi sunar (Vaghefi vd.,2003). Akımsız kaplama yönteminde, kaplama malzemesi sulu bir çözelti içerisinde metalik iyonların elektrostatik yükler kullanılarak yüzeye tutunması esasına dayanır. Bu yöntemde kullanılan kimyasalların atık miktarları daha azdır ve çevre dostu bir kaplama yöntemi sağlar. Akımsız Ni-P kaplamaların kullanım alanları oldukça geniştir. Otomotiv, havacılık, savunma, tıbbi cihazlar, elektronik ve yarı iletken endüstrilerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Matsubara vd.,2002). Bu kaplamalar yapısı gereği aşınma, korozyon dayanımı, yüksek sıcaklıklara stabilitesi ve oksidasyona koruma sağlayarak parça ömrünü artırır ve maliyeti azaltır (Yan vd., 2008). Bu yöntem, yüzey işlem teknolojisindeki çalışmalarda çoklu alaşım ve kompozit kaplamaların üretilmesini popüler hale getirmektedir (Jena vd.,2022). Bu çalışmada, akımsız kaplama yöntemiyle alüminyum malzemeye nikel esaslı kaplamaların uygulanması ve kaplama parametrelerinin yüzey morfolojisi, kaplama kalınlığı ve korozyon dayanımına etkisinin incelenmesi amacıyla yapılan bir araştırmaya odaklanmaktadır.

2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Akımsız nikel kaplamalar, elektrokimyasal olarak nikel iyonlarının indirgenmesiyle otokatalitik bir kaplama prosesiyle elde edilir (Brenner, 1963). Bu kaplama yöntemi, ilk olarak 1950'de Riddell ve Brenner tarafından geliştirilerek patentlenmiştir (Brenner ve Riddell, 1934). Kaplama sırasındaki elektrokimyasal indirgeme işlemi ve sonrasındaki ısıl işlem süreci, kaplamanın kristalizasyon ve faz dönüşüm davranışını belirleyerek malzeme özelliklerinde değişikliklere sebep olmaktadır. Bu yapısal özellikler fosfor miktarı, ısıl işlem sıcaklığı gibi faktörlere bağlı olarak değişiklik gösterir ve kaplamanın özelliklerinin geliştirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. 6061 alüminyum malzeme üzerine nikel kaplamanın elektriksiz olarak biriktirilmesi yöntemi, indirgeyici madde sodyum hipofosfit miktarından, sıcaklıktan ve kaplama süresinden etkilenir. Akımsız nikel kaplamalarda sodyum hipofosfit konsantrasyonu arttıkça kaplama tabakasında % fosfor oranında buna karşılık gelen bir artış olur. Ayrıca, işlem görmemiş bir numune baskın bir amorf yapıya sahipken, ısıl işlem sonrası nikel kristal fazlarındaki artıştan dolayı sertlikte artış görülmektedir. Kaplama süresinin artmasıyla ise tabakadaki fosfor yüzdesi, amorfizasyon ve kaplama kalınlığı artar (Akyol vd., 2019). Akımsız nikel kaplamanın taban malzemeye yapışması genellikle ısıl işlem sırasında oluşan kimyasal bağlanmalar ile daha iyi hale gelmektedir. Bu bağlanma taban malzeme ile kaplama arasındaki difüzyon işlemi ile gerçekleşir. Kaplama sonrası ısıl işlem yapışma mukavemetinin artmasını sağlamaktadır. Çoklu alaşım kaplamalarda ısıl işlem sıcaklığı malzemelerin tribolojik özelliklerini etkilemektedir. Isıl işlem sıcaklığının artmasıyla birlikte nikelin kristalliliğinin arttığı ve nikel fazlarının oluştuğu görülmektedir (Wang vd., 2016).

Kimyasal yöntemle biriktirilen kaplamalar daha kalın kaplamalardır ve mekaniksel, elektriksel özelliklerin ihtiyaç duyulduğu alanlarda sıklıkla kullanılırlar. Akımsız kaplama prosesinde, kaplama metali yüzeyde biriktirilirken indirgeyici kaynağın ayrışmasıyla oluşan fosfor ve bor gibi çökeltiler elde edilmektedir. Birden fazla metal aynı kaplama içerisinde işlem görebilir. Akımsız kaplama metoduyla nikel, bakır, krom gibi çok sayıda farklı kompozisyonda kaplama çalışmaları yapılmıştır (Omidvar vd., 2015). Krom kaplamaların elektriksiz nikel-bor kaplamalarla değiştirilmesinin, zararlı etkiler oluşturmayan bir koruma tabakası ile sonuçlandığı kaydedilmiştir. Bu yöntem aynı zamanda istenen mekanik özelliklerin elde edilmesini sağlar. Nikel oranı arttıkça kaplama reaksiyonları da artmakta ve indirgenmiş metal iyonlarının artmasıyla nikel-bor fazlarının sayısı da artmaktadır. Bu da aşınmaya karşı daha dirençli ve daha sert yüzeylerin oluşmasına neden olur (Ulu, 2019). Akımsız nikel-fosfor/nikel-bor kompozit kaplama çalışmalarında kaplamanın yapısının amorf olduğu görülmektedir. Isıl işlemlerin sert faz oluşumunu tetiklediği ve bu oluşumun aşınma direncinde artışa neden olduğu belirlenmiştir. Ayrıca çoklu alaşım kaplamalar daha iyi korozyon dayanımı göstermektedir (Matik, 2020).

Kaplama sonrası uygulanan ısıl işlem gibi akımsız nikel kaplamanın yapısal özelliklerini geliştiren bir diğer etkense kaplama çözeltisine ilave edilen metalik veya metalik olmayan parçacıklardır (Khodaei vd.,2021). Parçacıkların kaplamayla biriktirilmesi, parçacıkların boyutuna, şekline, içeriğine, dispersiyon yöntemine bağlıdır.

Akımsız nikel matrisli kompozit kaplama yapısını oluşturan bu parçacıklar sayesinde kaplamanın mekanik ve tribolojik özelliklerindeki değişim çalışmalarına ilgi artmıştır. SiC, Al₂O₃, TiO₂, GO (grafen oksit), Karbon nanofiber (KNF) çalışmalarda kullanılan öne çıkan parçacıklardır. Al₂O₃, SiC ve karbon nanotüp takviyeli kompozit akımsız nikel kaplamalar geliştirilmiş ve bu yapıların metal yüzeye etkisi araştırılmıştır. Elektrokimyasal deneyler için tuz testi tercih edilmektedir. Kaplama çözeltisinde indirgeyici miktarındaki değişim kaplamanın fosfor miktarını ve korozyon özelliklerini etkilemektedir. Orta fosforlu kaplamaların yüksek fosforlu kaplamalara göre korozyon direncinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Islam vd., 2013). Kompozit kaplamalar her grup metale uygulanmaktadır. Akımsız kaplama yöntemi ile Karbon Nanotüp (KNT) takviyeli kompozit kaplamaların alüminyum altlık malzeme üzerine yapılan çalışmalarda kaplama çözeltisindeki KNT konsantrasyonunun kaplamanın mikroyapısal ve korozyon özelliklerine etkileri araştırılmaktadır. Üretilen kompozit kaplamaların karakterizasyon test sonucuna göre korozyon dayanımının arttığı tespit edilmiştir (Akyol vd., 2018).

3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

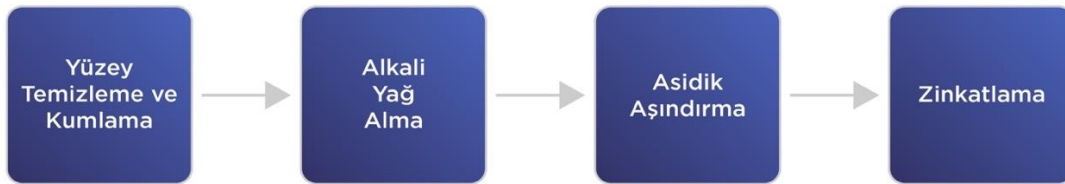
3.1. Yüzey Hazırlığı (Surface Preparation)

Çalışmada, Tablo 1’de kimyasal özellikleri verilen AA6061 T6 serisi alüminyum alaşımlı altlık malzeme 25x25x5 mm boyutlarında kullanılmıştır. Hazırlanan plakalar, akımsız kaplama banyosuna daldırılmadan önce 90 grit boyutunda cam küre kumu ile kumlanmıştır. Yapılan yüzey hazırlıklarından sonra farklı sürelerde (60dk, 90dk, 120dk) akımsız nikel banyosunda alüminyum yüzeyinde kaplama biriktirilmiş ve kaplama sonrası yapışma mukavemeti, kaplama kalınlığı ve korozyon direnci özellikleri yorumlanmıştır.

Tablo 1. Alüminyum alaşım (AA6061 T6) kimyasal özellikleri (Chemical properties of aluminum alloy (AA6061 T6))

Elementler	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Diğer	Al
Kütlece (%)	0.68	0.44	0.24	0.14	0.94	0.18	0.06	0.04	0.03	Kalan

Akımsız nikel kaplama prosesinde, kaplanacak malzemenin yüzey özelliği, kaplamanın taban malzemeye yapışmasını etkileyen en önemli parametrelerden birisidir. Bu yüzden kaplanacak plakaların kaplama banyosuna daldırılmadan önce yüzey temizliğinin çok iyi yapılması gerekmektedir (Yin vd.,2013). Uygulanacak ön işlemler Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Kaplama öncesi alüminyum numune ön hazırlığı (Preparation of aluminum sample before coating)

Yüzey temizleme uygulamasının ilk aşaması olan alkali yağ alma banyosu, kaplanacak yüzeyin yağ, kir, pas, oksit ve diğer yabancı maddelerden tamamen arındırılması gerektiği için önemli bir ön hazırlık adıdır. Yağ alma işleminin iyi yapılamaması durumunda yağ, kaplanacak yüzeyin yüzey gerilimini azaltarak kaplama metalinin yüzeye tutunmasını zorlaştırır. Yağlı yüzeylerde kaplama malzemesi çizilmeye, aşınmaya ve soyulmaya yatkın olabilir, bu da kaplamanın dayanıklılığını ve ömrünü azaltabilir. Yağ alma prosesi için kullanılan yöntemler; mekanik yağ alma, kimyasal yağ alma, ultrasonik yağ alma ve pasivasyon işlemleridir.

Asidik temizleme aşamasının hedefi ise yağ alma prosesinde temizlenemeyen oksitlenmiş tabakaları gidererek yüzeyi aktifleştirmektir. Bu işlem metal yüzeyinin pürüzlendirilmesi ve yüzey kusurlarının giderilmesi için de kullanılır. Pürüzlü yüzeyler, kaplama metalinin yüzeye tutunmasını kolaylaştırır ve kaplamanın dayanıklılığını arttırmaktadır.

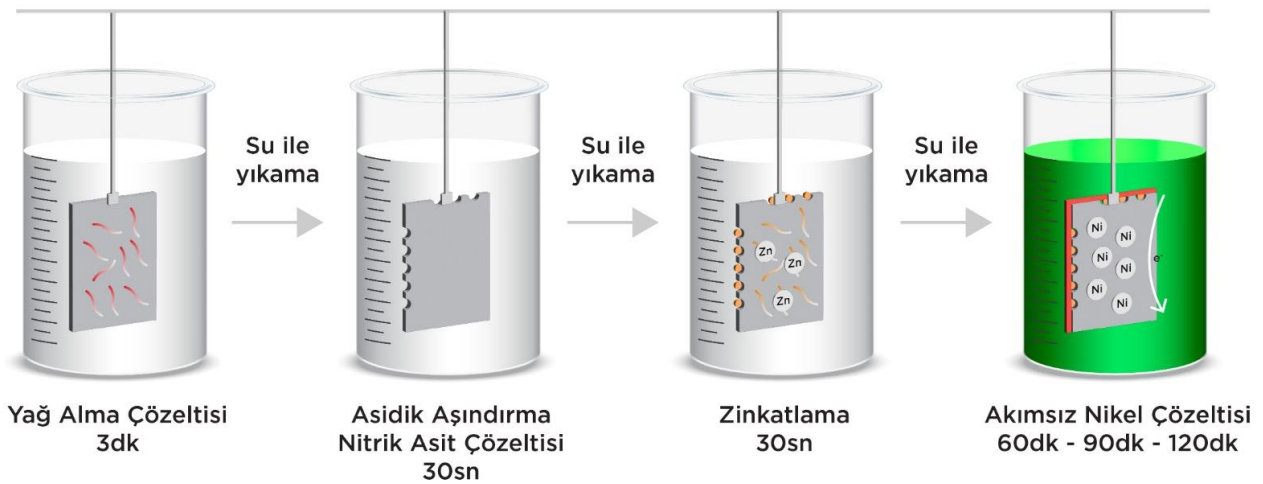
Kaplama altlığının iyi hazırlanmaması durumunda oksit katmanlarının oluşması mutlaka engellenmelidir. Bunu engellemenin en iyi yolu zinkatlama işlemidir (Takács vd.,2007). Yapılan zinkatlama işleminde, alüminyum altlık malzemesi yüzeyinde zinkat çözeltisi içerisinde bulunan çinko elementinin alüminyum ile yer değiştirerek yüzeyde çinko tabakası oluşturmasıdır. Oluşan çinko tabakası kaplama solüsyonu içerisinde çözünerek yüzeyin nikel ile kaplama prosesini başlatmış olur.

3.2. Akımsız Nikel Kaplama Prosesi (Electroless Nickel Plating Process)

Çalışmada, sıcaklık $85 \text{ }^\circ\text{C} \pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$ ve pH 4.5-5.2 optimum koşul kabul edilerek sabitlenmiştir. Nikel kaplama prosesi 60dk, 90dk, 120dk sürelerle alüminyum yüzeyine indirgenmiştir. Çalışmada nikel kaynağı olarak nikel sülfat, fosfor kaynağı olarak sodyum hipofosfit kullanılmıştır. Kurulum kimyasalları Doğu Kimya (Ankara)'dan temin edilmiştir. Çalışmada yağ alma işlemi için ANADOL DA 5 alkali temizleyici kullanılmıştır. Yağ alma banyosunun kurulumu için yarı seviyeye kadar su dolu 1 L hacime sahip beher içerisine 100 gr Anadol DA 5 kimyasalı ilave edildi ve kalan hacim su ile tamamlandıktan sonra manyetik karıştırıcı yardımıyla katı formdaki ürün çözdürüldü. İkinci aşama olan asidik aşındırma banyosu için %38'lik Nitrik Asit (HNO_3) kimyasalı yarı seviyeye kadar su dolu 1 L hacime sahip beher içerisine 500 mL eklenip kalan hacim su ile tamamlandı. Akımsız nikel kaplama banyosu kurulumu için Niklad 787 kimyasalının A ve B komponentleri ile kurulum yapılmış, C komponenti ile besleme yapılmıştır. Kurulum için banyo hacminin %60'ı su ile doldurularak 65 mL Part 121A eklenerek karıştırıldı. Daha sonrasında 170 mL Part 122B kimyasalı eklendikten sonra kalan hacim su ile tamamlandı ve pH'ı 4.5-5.2 aralığında olması için %50 (v/v) amonyak çözeltisi kullanılmıştır. Kaplama prosesi başladıktan 1 saat sonra banyo çözeltisine 90 mL C komponenti eklenmiştir. İlave edilen C komponenti kaplama banyosunda kompleks yapıcı madde olarak kullanılmıştır. Kurulumdan sonra eklenmesinin sebebi indirgenen nikel metali ile bileşik yaparak nikel konsantrasyonunu azaltarak banyoda oluşacak çökeltme riskini ortadan kaldırmaktadır. İlgili çalışma parametreleri Tablo 2'de verilmiştir. Akımsız nikel kaplama prosesinde pH ve sıcaklık önemli değişkenlerdir. Düşük pH, düşük sıcaklık kaplama hızını düşürmektedir. Bu sebeple proses boyunca pH ve sıcaklık düzenli olarak kontrol edilmiştir. Gerçekleştirilen kaplama işlemi Şekil 2'de belirtilmiştir.

Tablo 2. Akımsız Nikel kaplama banyosu konsantrasyonu ve parametreleri
(Electroless nickel plating bath concentration and parameters)

Banyo Bileşenleri	Bileşen Türü / Kullanım Amacı	Konsantrasyon
Part 121 A	Nikel Sülfat/ Metalik Nikel Kaynağı	65 mL
Part 122 B	Sodyum Hipofosfit/ İndirgen Madde Kaynağı	170 mL
Part 151 C	Disodyum Tetraborat Dekahidrat/ Kompleksleştirici Ajan	90 mL
Amonyak	pH Yükseltgeni	1 mL
Parametreler	Değerler	
pH	4.5-5.2	
Banyo Sıcaklığı	$85 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$	
Kaplama Süresi	60 dk, 90 dk, 120 dk	

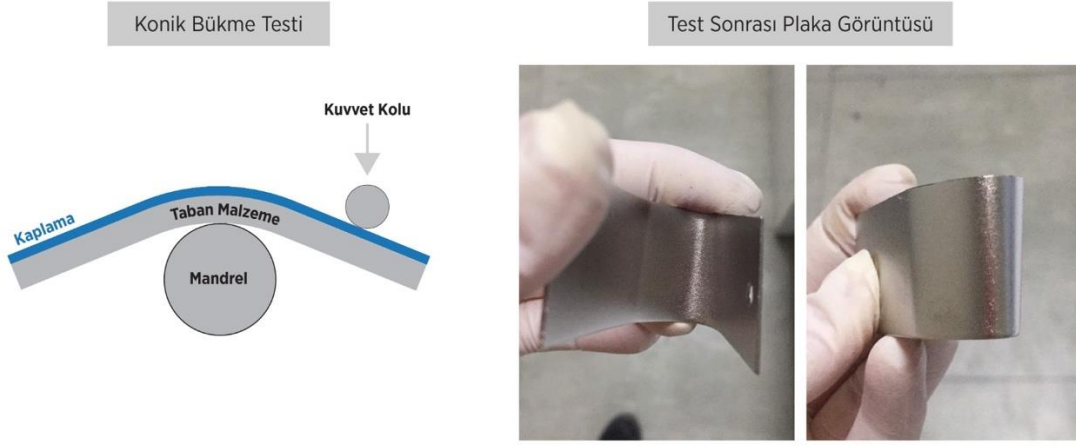


Şekil 2. Akımsız kaplama yöntemiyle nikel kaplama üretim akışı
(Production flow of nickel plating using electroless plating method)

4. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

4.1. Konik Bükme Testi Deneyleri (Conical Bend Tests)

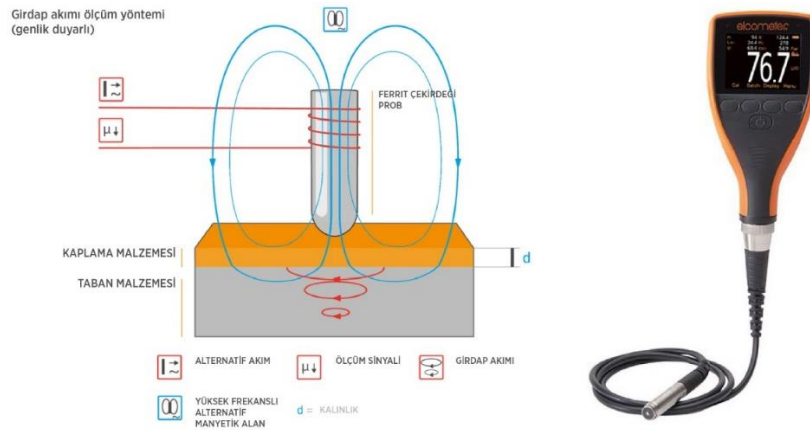
Test numunelerine kaplama kalitesini değerlendirmek amacıyla konik bükme testi uygulanmıştır. Kaplama yüzeyinde istenmeyen ve kalitesini doğrudan etkileyen gözeneklerin sebebiyet vereceği çatlamları tespit etmek ve yapışma mukavemetini değerlendirmek için ASTM D522 (D522, 2010) konik bükme testi standardı esas alınarak kaplama kalitesi değerlendirilmesi yapılmıştır. Test numunesi çalıştırma kolu yatay konumdayken plakanın bitiş tarafı çekme çubuğuna doğru olacak şekilde mandrel ile çekme çubuğu arasına yerleştirilir. Panel her zaman mandrelin dar ucuna ayarlanacak şekilde uzun kenarı sıkıştırma çubuğunun arkasına yerleştirilerek panel mandrelle bitişik dikey bir konumda kuvvet uygulayarak sıkıştırılır. Çekme kolu tekdüze bir hızda 180°C hareket ettirilir ve 1sn süreyle bükme işlemi gerçekleştirilir. Şekil 3’de konik bükme testinin yapıış yöntemi ve test sonrası görselleri verilen ‘U’ şeklini alan plakalarda kaplamada çatlama, soyulma, pullanma gibi durumlar görülmemiştir.



Şekil 3. Konik Bükme Testi uygulama metodu ve bükme testi uygulanan plaka görüntüleri
(Cone bending test application method and images of bending tests applied to plates)

4.2. Kaplama Kalınlık Testi (Coating Thickness Test)

Kaplama sonrası yüzeyde biriktirilen kaplama kalınlığının ölçümü için tahribatsız muayenelerden Eddy-Current yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde ön koşul, alt malzemenin elektriksel olarak iletken olması fakat mıknatıslanabilir olmamasıdır. Alüminyum yüzeylerde tercih edilen yöntemlerdendir. Eddy akımı yöntemiyle ölçüm yapmak için problemler ferrit çekirdeğine sahiptir. Çekirdek etrafındaki bobinden yüksek frekanslı alternatif akım akar ve bobin etrafında manyetik alan oluşur. Prob metal yüzeyinde gezdirildiğinde, metal yüzeyinde alternatif bir akım indüklenir. Bu da farklı bir manyetik alan oluşturur. İkinci oluşan manyetik alan birincinin tersi olup, orijinal manyetik alan zayıflar. Zayıflama boyutu, kutup ile metal arasında mesafe oluşturur. Kaplanmış parça için bu mesafe kaplama sonrası oluşan katman kalınlığını verir. Ölçüm cihazı olarak Elcometer 456 tip kaplama kalınlığı ölçüm cihazı kullanılmıştır. Şekil 4’de verilen Eddy-Current yöntemiyle çalışan kaplama cihazından alınan kaplama kalınlıkları Tablo 3’de verilmiştir. Kaplama süresinin artmasıyla yüzeyde biriken film tabakasının kalınlığı artmaktadır.



Şekil 4. Eddy Current yöntemi çalışma mekanizması ve kalınlık ölçüm cihazı
(Eddy current method working mechanism and thickness measurement device)

Tablo 3. Kaplama kalınlık ölçüm değerleri (Coating thickness measurement values)

Kaplama Süresi	1.plaka ölçümü	2.plaka ölçümü	3. plaka ölçümü
60 dk	15.5 µm	15.7 µm	15.8 µm
90 dk	20.2 µm	20.5 µm	20.6 µm
120 dk	25.8 µm	25.9 µm	26.1 µm

4.3. Tuz Sisi Testi (Salt Mist Test)

Akımsız Ni-P kaplamalarda korozyon direncini etkileyen birden fazla sebep vardır. Kaplama kalınlığı, banyo bileşimi, kaplamanın gözenekliliği bunlara örnek olarak verilebilir. Kaplamanın korozyon direncini belirlemek için tuz sisi testleri uygulanmaktadır. Yapılan yüzey işlemin korozyon direncine etkisini incelemek için C&W Specialist SF/200A Modeli tuz sisi testi kabini kullanılmıştır. Deney sisteminde, ASTM B117 (B117, 2010) standardına bağlı olarak pH değeri 6.5-7.2 arasında olan deiyonize su içinde %5 sodyum klorür (NaCl) çözeltisi kabin içerisine püskürtülerek deniz atmosferi benzeri bir korozif ortam oluşturulmuştur. Kabin test boyunca kapalı tutulmuş ve kapak oturma kanalı temiz su ile doldurulmuştur. Bu suyun görevi doğal conta görevi görerek kapak kenarlarından sis çıkışı ve sıcaklık kaybını engellemektir. Kabin içi test ortamı sıcaklığı $35\pm 2^{\circ}\text{C}$ 'de sabit tutulmuştur. Plakalar teste koyulmadan önce, plakaların keskin köşelerinde kaplama hassasiyeti olacağı kabul edilerek sızdırmaz bant ile 1mm kalınlığında arkalı önlü kapatılmıştır. ASTM B733 (B733, 2022) Akımsız Nikel-Fosfor kaplama standardına göre yüzey işlem yapılan plakalar kesintisiz 96 saat boyunca tuz sisi testine maruz bırakılmıştır. Test sonrası plakaların yüzeyde kalan tuz kalıntıları su ile yıkanarak yüzeyden temizlenmiştir. Büyüteç ile yüzey kontrolü yapılan tüm plakalarda 72 saat sonunda beyaz pas oluşumu görülmüştür.

5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Hazırlanan alüminyum altlık malzeme üzerine belirlenen optimum koşullarda akımsız nikel kaplama işlemi uygulanmıştır. Kaynak araştırmasında bazı çalışmalarda benzer çözeltiler kullanılmasına rağmen gerek banyo bileşenleri gerekse kaplama koşulları bu çalışmaya özgüdür.

Kaplama sonrası bükme testi yapılan plakalarda kaplamanın yüzeyden kalkmadığı ve pul pul dökülmediği gözlemlenmiştir. Yapılan yüzey hazırlık aşamaları kaplamayı olumlu yönde etkilemiştir. Kumlama işlemiyle plakaların yüzey pürüzlülüğünün artırılması kaplamanın yüzeye daha iyi tutunmasını sağlamıştır. Yüzey hazırlığın son aşaması olan çinko içeren zinkat çözeltisinin kaplamanın yapışma mukavemetine ettiği ettiği ve daha fazla kaplama birikmesi sağladığı görülmüştür.

Kaplanan plakalarda tüm optimum koşullar sağlanarak istenilen kalınlıkta kaplama yapılmıştır. Akımsız nikel kaplama banyosunun kaplama hızının 15-18 µm/saat olduğu tespit edilmiştir. Kaplama kalınlığı arttıkça kaplama hızının düştüğü görülmüştür. Kaplama süresinin arttıkça kaplama kalınlığının arttığı ve en yüksek kaplama kalınlığı 26.1 mikron ile 120 dk'ya ait 3.plakada elde edilmiştir.

Tuz püskürtme yöntemiyle korozyon testi yapılan plakaların korozif etkilere karşı dirençleri incelenmiştir. Kaplama banyosunda biriken ağırlıkça % fosfor oranı kaplama süresinin artmasıyla artış göstermektedir. Fosfor miktarındaki artış tuz çözeltisinde korozyon dayanımında pozitif yönde iyileşme sağlamaktadır. 72 saat sonunda tüm kaplanmış plakaların yüzeylerinde beyaz pas oluşumu görülmüştür. Fakat kaplama süresi 120 dk olan plakaların yüzeyinde, 60 dk kaplanmış plakalara göre daha az beyaz pas oluşumu görülmüştür.

Yapılan çalışmada belirlenen işlem yöntemleriyle akımsız nikel kaplama, diğer alüminyum alaşımları ve metal gruplarına (çelik, paslanmaz çelik vb.) uygulanabilme potansiyeline sahiptir. Akımsız nikel kaplamaların yüzeye üniform kaplanması ve uygulanabilir malzeme seçeneklerinin olması farklı sektörlerde kullanılmasına avantaj sağlamaktadır. Yeni teknolojik çalışmalarda, malzemelerin korozyon direncinin ve mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi için kaplama banyosuna partikül ilaveleriyle yapılacak kompozit çalışmalar önem kazanmaktadır. Savunma ve havacılık sektörü başta olmak üzere bu malzemelere yönelik yapılacak teknolojik gelişmeler de kompozitlerin, akımsız kaplama teknolojisiyle kullanımı yaygın hale gelecektir.

Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışmayı yapmamıza fırsat veren Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği bölümüne 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)

- Akyol, A., Algül, H., Bilaç, O., Ulu, S., Gül, H., Uysal, M., ... & Alp, A. 6061 Serisi Alüminyum Altık Üzerine Akımsız Kaplama Yöntemi ile KNT Takviyeli Alaşım Matrisli Ni-P-KNT Kompozit Kaplamaların Korozyon Davranışının İncelenmesi.
- Akyol, A., Algül, H., Bilaç, O., Seda, U. L. U., Harun, G. Ü. L., UYSAL, M., ... & Ahmet, A. L. P. (2019). Elektrolitik Sert Metal Kaplamaya Alternatif Çevreye Duyarlı Ni-P Kaplamaların 6061 Serisi Alüminyum Altık Üzerine Akımsız Yöntemle Biriktirilmesinde Sodyum hipofosfit, Sıcaklık ve Zamanın Etkisi. *Academic Platform-Journal of Engineering and Science*, 7(3), 442-448.
- A. Brenner, G.E. Riddell, Nickel plating on steel by chemical reduction, *J. Res. Natl. Bur. Stand.*, 37, 31 – 34, 1934.
- Brenner A., *Electrodeposition of Alloys: Principles and Practice*, 2.Baskı, New York: Academic, Newyork, 589-590, 1963.
- Burleigh, T. D. (2003). Corrosion of aluminum and its alloys. In *Handbook of aluminum* (pp. 421-463). CRC Press.
- B117, "Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus", <https://www.astm.org/b0117-19.html>, December 31, 2010.
- B733, "Standard Specification for Autocatalytic (Electroless) Nickel-Phosphorus Coatings on Metal", <https://www.astm.org/b0733-22.html>, May 05, 2022.
- D522, "Standard Test Methods for Mandrel Bend Test of Attached Organic Coatings", <https://www.astm.org/standards/d522>, December 31, 2010.
- Hashmi, M. S. J. (2014). *Comprehensive materials processing*. Newnes.
- Islam, M., Azhar, M. R., Fredj, N. ve Burleigh, T. D., (2013). "Electrochemical Impedance Spectroscopy and Indentation Studies of Pure and Composite Electroless Ni-P Coatings", *Surface and Coatings Technology*, 236:262-268.
- Jena, G., & Philip, J. (2022). A review on recent advances in graphene oxide-based composite coatings for anticorrosion applications. *Progress in Organic Coatings*, 173, 107208.
- Khodaei, M., & Gholizadeh, A. M. (2021). SiC nanoparticles incorporation in electroless NiP-Graphene oxide nanocomposite coatings. *Ceramics International*, 47(18), 25287-25295.
- Krishnan K.H., John S., Srinivasan K.N., Praveen J., Ganesan M., Kavimani P.M., An overall aspect of electroless Ni-P depositions— A review article. *Metall. Mater. Trans. A.*, 37, 1917 – 1926, 2006.
- Matik, U. (2020). Effect of crystallization on wear and corrosion behavior of electroless Ni-P/Ni-B duplex coating on ferrous PM compacts. *Kovove Mater*, 58, 247-254.
- Matsubara, H., Yonekawa, T., Ishino, Y., Nishiyama, H., Saito, N., & Inoue, Y. (2002). Observation of initial deposition process of electroless nickel plating by quartz crystal microbalance method and microscopy. *Electrochimica acta*, 47(25), 4011-4018.
- M. Yan, H. G. Ying, and T. Y. Ma, "Improved microhardness and wear resistance of the as-deposited electroless Ni-P coating," *Surf. Coatings Technol.*, vol. 202, no. 24, pp. 5909-5913, 2008.
- Omidvar H., Sajjadnejad M., Stremsoerfer G., Meas Y., Mozafari A., Characterization of NiBP-graphite composite coatings deposited by dynamic chemical plating. *Anti-Corrosion Methods Mater.*, 62, 116 – 122, 2015.
- Paz Martínez-Viademonte, M., Abrahami, S. T., Hack, T., Burchardt, M., & Terryn, H. (2020). A review on anodizing of aerospace aluminum alloys for corrosion protection. *Coatings*, 10(11), 1106.
- Sharma, S. B., Agarwala, R. C., Agarwala, V., & Satyanarayana, K. G. (2002). Characterization of carbon fabric coated with Ni-P and Ni-P-ZrO₂-Al₂O₃ by electroless technique. *Journal of materials science*, 37, 5247-5254.
- Takács, D., Sziráki, L., Török, T. I., Sólyom, J., Gácsi, Z., & Gál-Solymos, K. (2007). Effects of pre-treatments on the corrosion properties of electroless Ni-P layers deposited on AlMg2 alloy. *Surface and Coatings Technology*, 201(8), 4526-4535.
- Tracon, A. A. (2007). *Coatings Technology-Fundamentals, Testing, and Processing techniques*. Coatings Technology-Fundamentals, Testing, and Processing techniques, 238-284.
- Ulu, S. (2019). Alüminyum alaşımlarının akımsız kaplama yöntemiyle nikel bor kaplanması (Master's thesis, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi).
- Vaghefi, S. M., Saatchi, A., & Ebrahimian-Hoseinabadi, M. (2003). Deposition and properties of electroless Ni-P-B4C composite coatings. *Surface and Coatings Technology*, 168(2-3), 259-262.
- Yin, Z., & Chen, F. (2013). Effect of nickel immersion pretreatment on the corrosion performance of electroless deposited Ni-P alloys on aluminum. *Surface and Coatings Technology*, 228, 34-40.
- Q. Wang et al., "Evolution of structural, mechanical and tribological properties of Ni- P/MWCNT coatings as a function of annealing temperature," *Surf. Coatings Technol.*, vol. 302, pp. 195-201, 2016.



BİTKİSEL BOYALAR İLE DOĞAL KUMAŞLARA BASKI UYGULAMASI

Güler ÖNCÜ^{1*}, Füsün ERGÜL¹

¹ Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Tekstil Teknolojisi Bölümü, Isparta, Türkiye

Anahtar Kelimeler

*Doğal Boyalar,
Serigrafi,
Çevre Dostu,
Ekolojik Kumaş,
Sürdürülebilirlik.*

Öz

Tekstil endüstrisi, kimyasal işlemler nedeniyle, çok fazla kirliliğin olduğu sektörlerden biridir. Tekstil sektöründe ekolojik ve sürdürülebilir yaklaşımların gerekliliği sadece sağlığa zararlı kimyasal ürünlerden uzaklaşmak ve doğal malzemelerin proseslere dahil edilmesi değil, aynı zamanda yaşadığımız ortamın gelecek nesillere temiz bırakılmasını da gerektirir. Tarihsel süreçte başlayan doğal boyamacılık, tüketici talepleri nedeniyle, tekrar gündeme gelmiştir. Bazı doğal boyarmaddelerin insan sağlığı açısından olumlu sonuçlar verdiği bilinmektedir. Sağlıklı ürünlere olan talep artışı düşünüldüğünde hem endüstriyel alanda hem de tüketiciler için daha zararsız ve güvenli olan doğal boyalar pek çok sorunun çözümü olarak karşımıza çıkmaktadır. Tekstil ürün çeşitliliğini, ekolojik malzeme ve doğal boya ile artırmak mümkündür. Bu amaçla, tekstilde yoğun olarak kullanılan sentetik boyaların oluşturduğu zararları azaltabilmek için, ekolojik kumaşlar üzerine doğal boya kullanılarak serigrafi baskı ile sürdürülebilir yaklaşımın geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bu çalışmada, eko-tekstillerin önemi ve pazarda artan talebi de dikkate alarak, doğal iplikle üretilen kumaşlara, bitkilerden elde edilen doğal boyarmaddelerle baskı yapılmıştır. Bu kumaşların sürtünme haslığı, yıkama ve su haslığı, standart yöntemlerle test edilmiştir. Çalışma sonucunda, her üç bitkisel doğal boyarmaddenin (nar (*Punica granatum*) kabuğu, soğan (*Allium cepa*) kabuğu ve palamut meşesinden (*Quercus ithaburensis*)) selülozik yapıdaki ekolojik kumaşlara uygulanabilirliği ortaya konulmuştur. Haslık bakımından en iyi sonuç, pamuklu kumaş üzerine soğan kabuğundan yapılan baskı ile elde edilmiştir.

PRINTING APPLICATION ON NATURAL FABRICS WITH HERBAL DYES

Keywords

*Natural Dyes,
Screen Printing,
Environmentally Friendly,
Sustainable Approach,
Ecological Fabrics.*

Abstract

The textile industry is one of the sectors where a lot of pollution occurs due to chemical processes. The necessity of ecological and sustainable approaches in the textile sector brings with it the subjects of the avoidance of harmful chemical products and the inclusion of natural materials in the processes, but also issues such as leaving the environment that we live in clean for future generations. Natural dyeing, which started in the historical process, has come to the fore due to consumer demands. It is also known that some natural dyestuffs give positive results in terms of human health. When the increase in demand for healthy products is considered, natural dyes, which are more harmless and safer for both the industrial area and the consumers, appear as the solution to many problems. It is possible to increase some of the textile product diversity by printing natural dyes on ecological materials. Due to the damages caused by synthetic dyes, which are used extensively in the sector, it is aimed to develop a sustainable approach by screen printing with natural dyes on ecological fabrics in our study. In this study, considering the importance of eco-textiles and the increasing demand in the market, fabrics produced with natural yarn were screen-printed with natural dyestuffs obtained from waste plants. All fastness tests of the printed fabrics were evaluated by using standard test methods. As a result of the study, the applicability of all three natural plant dyestuffs (pomegranate (*Punica granatum*) peel, onion (*Allium cepa*) peel and acorn oak (*Quercus ithaburensis*)) to ecological fabrics in cellulosic structures has been proved. The best result in terms of fastness was obtained from the samples that were printed with onion peel on the cotton fabric.

Alıntı / Cite

Öncü, G., Ergül, F., (2023). Bitkisel Boyalar ile Doğal Kumaşlara Baskı Uygulaması, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(3), 1009-1017.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

G. Öncü, 0000-0002-3139-4554
F. Ergül, 0000-0002-5138-4249

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	20.09.2022
Revizyon Tarihi / Revision Date	31.01.2023
Kabul Tarihi / Accepted Date	10.04.2023
Yayın Tarihi / Published Date	28.09.2023

* İlgili yazar / Corresponding author: guleroncu@isparta.edu.tr, +90-246-214-6930

PRINTING APPLICATION ON NATURAL FABRICS WITH HERBAL DYES

Güler ÖNCÜ^{1†}, Füsün ERGÜL¹

¹ Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Tekstil Teknolojisi Bölümü, Isparta, Türkiye

Highlights

- Environmental, ecological importance and good performance of natural dyes in screen printing.
- Importance of sustainable and environmentally friendly dyes, evaluation of agricultural wastes.
- Fastness values and wearability properties of natural dye printing.

Purpose and Scope

Conducting new research to eliminate the negative environmental effects of chemical dyes.

Design/methodology/approach

Printing paste was prepared by using natural dyes on natural woven fabrics in order to reduce the negative effects of the use of chemicals used in the textile industry. The test results were evaluated with the application of silkscreen printing.

Findings

The friction fastness, washing and water fastness of the fabrics were tested with standard methods. It has been decided that the printing application on natural fiber woven fabrics with natural dyeing is suitable for use as clothing.

Practical implications

Studies on different natural dye pastes and types can be increased.

Social Implications

Increasing such studies and expanding the use will be beneficial in reaching the demand for healthy and ecological textile products to people.

Originality

No studies on pomegranate peel, onion peel and acorn oak were found in textile printing studies. Therefore, our work is original and is a source.

1. Giriş (Introduction)

Boyarmadde olarak bitkilerden yararlanılması yüzyıllar öncesine dayanmaktadır. Geçmişte, boyarmadde içeren bitkiler, tekstil, gıda ve deri gibi sanayi ürünlerin temel boya kaynağını oluşturmuştur. Ancak 19. yüzyılın ortalarında sentetik boyarmaddelerin keşfi ile doğal boyalar ve dolayısıyla doğal boyamacılık yavaş yavaş günümüze kadar önemini yitirmiştir. Fakat sentetik boyaların insan vücudu üzerine alerjik, toksik ve kanserojen etkilerinin ortaya çıkmasıyla ve tüketicilerin ekoloji ve sağlık konusunda oluşan farkındalık ve talepleri üzerine sentetik boya kullanımının alternatifleri araştırılmaya devam etmektedir. Doğal boyamanın uzun zaman gerektiren işçiliği, zahmetli ve daha pahalıya mal olması tercih edilmesini etkilemesine rağmen, doğal renklendiricilerin çok daha zararsız ve çevre dostu olması yeniden gündeme gelmesini sağlamıştır (Mert vd., 1992).

Doğal boyamada bazı bitkilerin tamamı, bazılarının kökü, yaprağı, yumru kabuğu, gövde kabuğu veya dalları kullanılmaktadır (Çolak vd., 2020). Antik çağlardan beri insanlar tekstil ürünlerini doğal kaynaklardan elde ettikleri boyarmaddelerle renklendirmişlerdir (Leggett, 1944; Garland,1993; Cardon, 2010). Artık günümüzde doğallık, gündelik hayatın içinde her geçen gün daha da önem kazanmaktadır. Kirletici, kanserojen olmayan ve çevre dostu yapıları nedeniyle küresel arenada doğal boyalara olan ilgi yeniden canlanmıştır (Siva, 2007; Ali ve El-Khatib,2011). Doğal boyanın avantajlarından bazıları: toksik ve alerjik olmayan, biyolojik olarak parçalanabilir, çevre dostu ve estetik açıdan çekici olmaları, bitkileri, meyveleri, yaprakları, kabuğu veya çiçek başlarını suda kaynatarak renklerin kolay çıkarılmasıdır (Arora vd.,2017). Doğal boyaların biyoçözünür olmasından dolayı onlarla işlem gören tekstil ürünler, giderek önem kazanmaya ve katma değeri yüksek ürün sınıfında yer almaya başlamıştır. Son zamanlarda birçok ülke tarafından dayatılan çevre standartlarının bir sonucu olarak tekstil

[†] İlgili yazar / Corresponding author: guleroncu@isparta.edu.tr, +90-246-214-6930

proseslerinde doğal boyaların yaygınlaştırılmasına yönelik çalışmalar gerçekleştirilmektedir (Deo ve Desai, 1999). Doğal boyaların yaratıcı tasarımlara uygunluğu ve oluşturdukları renk yelpazesi, onları yaşantımız içinde vazgeçilmez hale gelmesini sağlamaktadır (Miah vd., 2016).

Karbon salınımı nedeniyle tekstil sektörünün karbon ayak izi artmakta, tekstil ürünlerinin yarattığı karbon etkisi ise tasarım ve hammadde seçimi aşamasında verilen kararlar doğrultusunda gerçekleşmektedir. Sürdürülebilir hammadde seçimi ise başlangıcı oluşturmaktadır. Başlarda sadece gıda ile sınırlı olan doğallık akımı bugün birçok konunun yanı sıra tekstil ve moda endüstrisinde de gözlemlenmektedir (Samanta vd., 2011; Uddin, 2015). Küreselleşme ve sürdürülebilirlik kavramları çevre dostu yaklaşımların geliştirilmesine yönelik çalışmaları öne çıkarmaktadır. Bu nedenle ekolojik kumaşlar ve doğal boyalar kullanarak tasarım kumaşlar geliştirilmesi, doğal malzemelerin kullanılmasının yanı sıra çevre dostu proseslerin geliştirilmesine imkân sağlayan sürdürülebilir yaklaşıma dayanmaktadır. Tarım ve gıda işleme endüstrileri, hala renklendirici pigmentler içeren büyük miktarda organik atık üretmektedir (Bechtold vd., 2006). Bitkisel ve tarımsal atıkların doğal boyarmadde olarak kullanılmasına ilişkin çalışmalar halen yapılmakta ve ilgi görmektedir. Çevresel sorunlar, günümüzün tüketim toplumunda büyüyen bir sorundur ve tarımsal atıklar da bunda önemli bir paya sahiptir. Tarımsal atıkların ekolojik baskıda kullanılması hem atıkların ortadan kaldırılmasını hem de tasarımda kullanılmasını sağlamaktadır (Çolak vd., 2021).

Tarafımızdan yapılan literatür taraması sonucunda doğal boyalarla iplik ve kumaş boyamasına ilişkin çalışmaların yaygın olmasına karşın, doğal boyaların baskıda kullanımıyla ilgili çalışmaların sınırlı olduğu (Rekaby vd., 2019) tespit edilmiştir. Ayrıca doğal boyalarla boyama için mevcut olan çalışmaların çoğu yünlü tekstillerle ilgilidir. Pamuk ve keten gibi selüloz esaslı tekstiller üzerine yapılan doğal boya ile baskı çalışmaları yok denilecek kadar azdır. Üstelik kenevir kumaşlara uygulanan doğal boya ile baskı çalışmalarına rastlanılmamıştır.

Bu çalışmada, eko-tekstillerin önemi ve ulusal veya uluslararası pazarda artan talebi göz önünde bulundurarak, doğal iplikle üretilen (pamuk, keten, kenevir) kumaşlara zirai atık niteliğindeki (palamut meşesi, nar ve soğan kabuğu) bitkilerden elde edilen doğal boyarmaddelerle serigrafi baskı yapılmıştır. Ayrıca bu çalışma sonucu elde edilen veriler doğal boyaların haslık özelliklerine de odaklanmaktadır. Böylece, sürdürülebilirlik kavramı açısından doğal boyaların kullanılmasına daha fazla imkân sağlayacak modadaki günlük değişimin de baskı çalışmaları ile de çeşitleneceği düşünülmektedir.

2. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

2.1. Malzemeler (Materials)

Mordanlar, boya alımını ve fiksasyonunu, renk tonunu ve haslık özelliklerini geliştirmek için kullanılan metalik tuzlar, metal iyonları içeren doğal bileşikler veya diğer kompleks yapıcı maddelerdir (IUPAC, 2019). En önemli mordan maddeleri, şap (alimünyum sülfat) $[KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O]$, demir sülfat ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$), bakır sülfat ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$), $SnCl_2 \cdot 2H_2O$ ve şarap taşıdır. (Karadağ, 2007). Çalışmamızda mordan olarak düşük çevresel toksisitesi ve renk değişimine sebep olmaması nedeniyle (Kavyashree, 2020) şap $[KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O]$ ve baskı patı için kıvamlaştırıcı olarak mısır nişastası kullanılmıştır. Doğal boyalar, nar (*Punica granatum*) kabuğu, soğan (*Allium cepa*) kabuğu ve palamut meşesinden (*Quercus ithaburensis*) elde edilmiştir.

2.2. Bitkisel Malzemelerden Boyaların Hazırlanması (Preparation of Dyes from Vegetable Materials)

Kurutulmuş doğal boya bitkilerinden boya çıkarma işlemi için 30 gram kuru materyal bitki 500 mL su içinde alınarak (%6) boya ekstraktı hazırlanmıştır. Çözeltiler daha sonra 30 dakika süre ile kaynatılmış ve ekstrakte edilen boya solüsyonları oda sıcaklığına soğumaya bırakılarak (Şekil 1) 24 saat bekletilmiştir. Doğal boya çözeltileri soğuduğunda bitki artıkları süzülerek baskı uygulamasında kullanılmıştır.



Şekil 1. Doğal boyaların hazırlanması (Preparation of natural dyes)

2.3. Baskı İçin Kullanılan Dokuma Kumaşların Özellikleri (Properties of Woven Fabrics)

Baskı için kullanılan dokuma kumaşlar doğal elyafla üretilen kumaşlardan seçilmiş olup, bu kumaşlar üretildiği elyaf özelliklerini taşımaktadır. Tüm kumaşlar 1/1 bezayağı örgü ile dokunmuştur. Genelde, kumaş özellikleri çözgü ve atkı sıklığı, kumaş konstrüksiyonu, ipliğin mukavemet veya fiziksel özellikleri, lif yapısı ve özellikleri gibi parametreler ile değerlendirilebilir. Bu çalışmada kullanılan pamuk, keten ve kenevir kumaşların özellikleri Tablo 1'de verilmektedir.

Tablo 1. Doğal kumaşların özellikleri (Properties of natural fabrics)

Numuneler	Kumaş Gramajı (g/m ²)	Çözgü Sıklığı (tel/cm)	Atkı sıklığı (tel/cm)
Pamuk	148.7	26	20
Kenevir	97.3	18	12
Keten	129.4	14	10

2.4. Baskı Patının Hazırlanması ve Doğal Boya ile Baskı Uygulaması (Printing Preparation and Application)

Serigrafi (elek) baskıda, baskı ipek veya sentetik bir kumaş çerçeveye gerilir. Basılması istenmeyen yerler ışığa hassas emülsiyon ile kaplanır, film ile direkt bilgisayardan lazer ışıkla pozlandırılarak basılması istenen görüntü kalıp yüzeyine geçirilir. Basıncı su ile açma işlemi yapılarak desen oluşturacak kısımdaki gözenekler boyayı içerisinden geçirecek şekilde açık bırakılır. Elde edilen şablona baskı patı konularak ve bir rakle (kauçuk bıçak) yardımı ile şablon boyunca eşit basınçla çekilir (Hugh, 1998). Serigrafi baskı, ekonomik ve kolay uygulanabilirliği nedeniyle tercih edilmektedir. Baskı patındaki daha yüksek bağlayıcı ve pigment konsantrasyonunun genellikle daha yüksek bir fiksasyon sıcaklığına ve bağlanma süresine ihtiyaç duyması nedeniyle baskılar yüksek sıcaklıkta yapılmıştır. Baskı işleminden önce boya emiciliği arttırmak amacıyla her üç kumaş türü de yıkama ve kurutma işlemlerinden geçmiştir.

Doğal boyadan baskı patı yapmak için boya ekstraktı içine mordan olarak 100 mL boya çözeltisine 1 g şap eklenmiştir. Daha sonra aynı beher içerisine 15 g mısır nişastası ilave edilerek karıştırıcı ile sürekli karıştırılarak kaynatılmış ve doğal boya baskı patı hazırlanmıştır (Şekil 2a). Doğal boya baskı hazırlanırken, her bir renk çözelti için aynı işlem tekrarlanmıştır. Baskı işleminde fiksajın baskı sırasında bir miktar gerçekleşmesi için doğal dokuma kumaşların üzerine sıcak olarak yapılmış, hazırlanan baskı patı serigrafi baskı yöntemi ile sabit basınçta rakle (Şekil 2b) ile pamuk, keten ve kenevir dokuma kumaşlara aktarılmıştır. Baskı sırasında baskı işleminin daha iyi gerçekleşmesi için keçe zemin üzerinde 45° açı ile baskı yapılmıştır.

Baskı yapılan kumaş (%65±2 izafi rutubet ve 20±2°C) altında 48 saat süre (Şekil 2c) ile kondisyonlanmıştır. Daha sonra 110°C, 10 dakika süre ile kurutma işlemi yapılarak baskı işlemi tamamlanmıştır. Kuru fiksaj ile boyanın kumaşa tamamen fikse olması sağlanmıştır. Baskı patında kıvamaştırıcı olarak kullanılan nişastanın kumaştan uzaklaştırılabilmesi için amonyak ile yıkama yapılmıştır. Amonyak, temini kolay nişasta parçalayıcısı olduğu için tercih edilmiş ve kumaş teste hazır hale getirilmiştir.

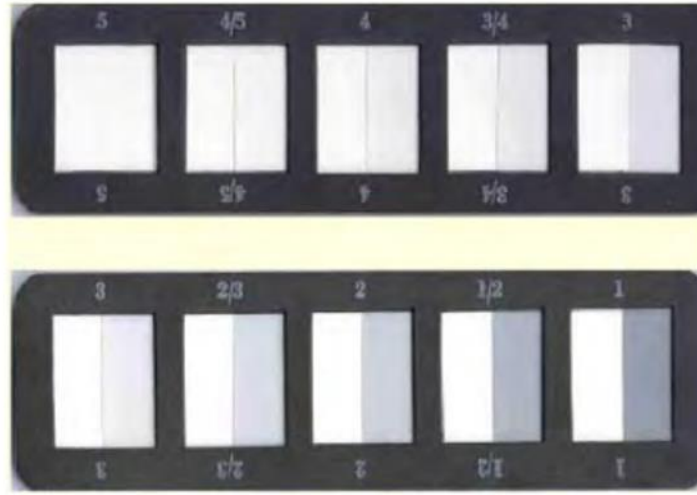


Şekil 2. a) Hazırlanmış baskı patları, b) Serigrafi baskı işleminin yapılışı, c) (%65±2 izafi rutubet ve 20±2°C) altında 48 saat süre ile kondisyonlama ((a) Prepared printing pastes, b) Making the silk-screen printing process, Conditioning for 48 hours in (65%±2% relative humidity and 20±2°C) conditions))

2.5. Haslık Özelliklerinin Belirlenmesi (Determination of Fastness Properties)

Tekstil ürünlerinde en fazla önem verilen haslıklar sürtünme özelliğine bağlı olarak yaş ve kuru sürtünmeye karşı renk haslığı, tekstil ürününün ev tipi yıkama ortamına karşı gösterdiği performans için yıkama haslığıdır. Boyalı numunelerin kuru ve yaş sürtünmeye karşı renk haslığı TS EN ISO 105 X12, yıkamaya karşı renk haslığı TS EN ISO

105 C06, 40°C, suya karşı renk haslığı TS EN ISO 105 E01 standartlarına göre yapılmıştır. Kumaşların refakat kumaşları kirletmeleri/boyamaları gri skalaya göre (Şekil 3) değerlendirilmiştir.



Şekil 3. Gri skala (Gray scale)

2.5.1 Sürtmeye Karşı Renk Haslığı Testi (TS EN ISO 105-X12)

Sürtme haslığı, bir kumaşın temas halinde bulunduğu bir başka kumaşa sürtünme ile rengini ona transfer etmeye karşı direncidir. Bu test ile 9 N kuvvet uygulayan Crockmaster cihazı kullanılarak, kumaşların standart beyaz pamuk kumaşları kirletmeleri/boyamaları değerlendirilmiştir. Test edilecek kumaş 20°C sıcaklık ve %65 bağıl nem içeren oda koşullarında 4 saat kondüsyonlanmış olup test cihazına standart beyaz sürtme kumaşı ile birlikte yerleştirilmiştir. 9 N' luk kuvvet uygulayan cihazın çevirme kolu saniyede 1 defa olacak şekilde 10 kere çevrilerek standart beyaz sürtme kumaşlardaki renklenme, orijinal halleri ile kıyaslanarak gri skala ile değerlendirilmiştir. Gri skala değerlendirme sonucunda sürtme haslık değerlerinin 5 olması beklenmektedir. Gri skala ile en düşük haslık değeri "1", en yüksek haslık değeri ise "5" olarak değerlendirilmektedir. Gri skala değerinin yüksek olması renkli kumaşın daha az boya aktığı ve daha çok boyanın tutunduğu anlamına gelmektedir.

2.5.2 Yıkamaya Karşı Renk Haslığı Testi (TS EN ISO 105-C06)

Tekstil ürünleri geniş kullanım alanlarına sahip oldukları ve sık kullanıldıkları için çoğunlukla yıkama işlemine tabi tutulmaktadır. Bu durum yıkama haslığının önemini ortaya koymaktadır. Bazı ürünlerde boyanın bir kısmının serbest halde olmasından dolayı yıkama sıvısını renklendirmesi ve bu boyalı sıvının da diğer tekstil ürünlerini veya aynı ürünün açık renkli kısımlarını boyayarak kirletmesi riski vardır. Bu nedenle çalışmamızda baskı uygulanan kumaşlar yıkamaya karşı renk haslığı testine tabi tutulmuştur. Bunun için, kumaş numunesi ve yıkama sırasında ona refakat (multifiber) edecek olan kumaş 40x100 mm boyutunda kesilip üst kısımlarından birbirine dikilmiştir. Yıkama çözeltisi 4 g/l ECE B deterjan ile hazırlanmıştır. Gyrowash yıkama makinesi içerisine alınan 150 mL yıkama çözeltisi 40°C'ye ısıtılıp tüp içerisine 10 adet çelik bilye ile dikili haldeki kumaşlar konularak 30 dakika boyunca yıkama işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu süre sonunda kumaşlar ılık su ile durulanarak 60°C'yi geçmeyen sıcaklıkta kurutulmuştur. Kumaş ve refakat kumaşı kuruduğunda, orijinal halleriyle kıyaslanarak gri skala yardımıyla değerlendirme yapılmıştır.

2.5.3 Suya Karşı Renk Haslığı Testi (TS EN ISO 105-E01)

Suya karşı renk haslığı, boyanmış tekstil mamulünün oda sıcaklığında belirli miktar su içinde bekletilmeye karşı dayanımının derecesidir. Testte boyanmış kumaş ile refakat bezi belirli bir süre için ve belirli ağırlık ile kapta su içinde bekletilmektedir. Süzüldükten sonra belirli basınç altında etüve yerleştirilmektedir. Burada refakat bezinde meydana gelen kirletme incelenmektedir. Bunun için test kumaş, 40 mm x 100 mm boyutlarında refakat kumaşı ile leke tutmayan kumaş arasına yerleştirilmiştir. ISO 105-A01-2002'ye uygun olarak dört tarafı dikilip oda sıcaklığında iyice ıslatılmıştır. Daha sonra 60 x 115 x 1,5 mm ölçülerindeki cam plakaların arasına yerleştirilmiş ve 12,5 kPa'lık bir basınç uygulamak için ağırlık konulmuştur. Numune etüv içerisine yerleştirilerek (37 ± 2)°C sıcaklıkta 4 saat bekletilmiş ve havada asılı halde 60°C'yi aşmayan bir sıcaklıkta kurutulmuştur. Test örneğinin rengindeki değişiklik ve bitişik dokuların lekelenme derecesi gri skala kullanılarak değerlendirilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma (Results and Discussion)

3.1 Doğal Boya ile Uygulanan Baskı Sonuçları (Natural Dyed Print Results)

Ürün tasarımında beğeni ve dikkat çekme açısından renk önemli bir faktördür. Ürünün farklılık ve çekicilik değerinin yanında pazarlama şansını da artırır. Tüketici ürün seçerken genellikle ilk göz önünde bulundurulacak etmen göz alıcı renklerdir. Tablo 2’de çalışmamızda kullanılan doğal boyaların ekolojik kumaşlar üzerinde ortaya koydukları renkler gösterilmektedir.

Tablo 2. Doğal boya bitkilerinin doğal kumaşlar üzerinde ortaya koydukları renkler
(Colors of natural dye plants on natural fabrics)

Doğal boyarmadde	Pamuk	Keten	Kenevir
Nar kabuğu	Hardal Sarısı	Hardal Sarısı	Hardal Sarısı
Soğan kabuğu	Açık Sarı	Açık Sarı	Açık Sarı
Palamut meşesi	Haki-Kahverengi	Haki-Kahverengi	Haki-Kahverengi



Şekil 4. Baskı uygulanan numuneler (Printed samples)

Şekil 4’te görüldüğü gibi, soğan kabuğu, nar kabuğu ve palamut meşesi ile baskı sonucunda farklı renk ve tonlar ortaya çıkmıştır. Soğan kabuğu ile yapılan baskılarda şap mordan kullanılarak basılmış kumaşların rengi açık sarı tonda olmuştur (Şekil 4). Nar kabuğu hardal sarısı tonda renk verirken palamut meşesi haki-kahverengi tonda renk vermiştir. Şap ile mordanlanmış kumaşlarda renkler daha parlak ve açık renktedir. Mordan olarak şap kullanımı elde edilen kumaşın renk tonunu açık yapsa da (Çolak vd., 2020) şapın kullanılması kumaşı daha az zararlı ve giyilebilir yapması nedeniyle tercih edilmektedir. Boyama işlemleri, işlem görececek dokular için uygun boyaların seçimi ile gerçekleştirilir. Boyama işleminin temeli, boyama yöntemi ne olursa olsun, boya çözeltisinden boyanın kumaşa aktarılmasına dayanmaktadır. Boyamanın temel işlemleri arasında lif oluşumu, bir çözeltinin hazırlanması ve uygun boyama işlemi yer alır (Tortora, 1978). Pamuk ve selüloz lifleri hidroksil grupları içerdiklerinden semipolarizedir (Joseph, 1972), hidrojen bağı ile bağlanabildiklerinden boyama işlemine karşı nispeten etkisizdirler. Çalışmamızda kullanılan pamuk, keten ve kenevir selülozik elyaf olup özellikle doğal boyama işlemi sırasında zayıf hidrojen bağı ile bağlanmış olmalarına rağmen iyi sonuç vermişlerdir. Doğal ve sentetik pamuk ile doğal ve sentetik yün, boyaları kolayca emme özelliğine sahip liflerdir. Ek olarak, kimyasal bileşimleri onları çoğu pigment türüyle kimyasal olarak uyumlu hale getirir. (Al-Khateeb, 2019).

3.2. Doğal Boya ile Baskı Uygulanan Kumaşların Haslık Sonuçları (Fastness Results of Dyed Fabrics)

Çalışmada kuru ve yaş sürtünmeye karşı renk haslıkları tüm kumaş ve tüm doğal boyalarda 5 olarak bulunmuştur. Pamuklu kumaşta en iyi yaş sürtünmeye karşı renk haslığını soğan kabuğu verirken daha sonra nar kabuğu, ardından palamut meşesi vermektedir. Kenevir kumaş için yaş sürtünmeye karşı renk haslık değeri nar kabuğu ve palamut meşesi için 4 iken soğan kabuğu 4-5 değerindedir. Keten kumaş için ise en iyi yaş sürtünmeye karşı renk haslık değeri sırasıyla soğan kabuğu, nar kabuğu için 4 ve palamut meşesi için 3-4 değerindedir. En iyi doğal baskı çalışmasının, pamuklu kumaş üzerine soğan kabuğu ile yapılan baskı olduğu saptanmıştır. Boyarmaddelerin kumaş üzerinde kuru ve yaş sürtünmeye karşı renk haslığı sonuçları Tablo 3’te verilmektedir.

Tablo 3. Doğal boyarmaddelerin ekolojik kumaşlar üzerinde kuru ve yaş sürtünmeye karşı renk haslıkları
(Color fastness to dry and wet rubbing of natural dyes on ecological fabrics)

Numune/Doğal Boya	Nar Kabuğu		Palamut Meşesi		Soğan Kabuğu	
	Kuru	Yaş	Kuru	Yaş	Kuru	Yaş
Pamuk	5	4-5	5	4	5	5
Kenevir	5	4	5	4	5	4-5
Keten	5	4	5	3-4	5	4-5

Doğal boyarmaddelerin ekolojik kumaş üzerinde yıkamaya karşı renk haslığı sonuçları Tablo 4'te verilmektedir.

Tablo 4. Doğal boyarmaddelerin ekolojik kumaş üzerinde yıkamaya karşı renk haslığı
(Color fastness to washing of natural dyes on ecological fabric)

Numune/Doğal Boya	Nar Kabuğu	Palamut Meşesi	Soğan Kabuğu
Pamuk	5	4-5	5
Kenevir	5	4	4-5
Keten	5	4	4-5

Çalışmamızda doğal boyalar ile baskı uygulanan kumaşların yıkamaya karşı renk haslıklarının 4 ve üzerinde değerlere sahip olduğu tespit edilmiştir. Pamuklu kumaşta soğan ve nar kabuğu boyaları ile baskı uygulaması sonrasında bu değer 5, palamut meşesi boyası uygulandığında 4-5 olarak bulunurken, keten ve kenevir kumaşlar için en iyi sonuç nar kabuğu ile yapılan baskı işlemde elde edilmiştir. Yıkamaya karşı renk haslığı soğan kabuğunun boyası kullanıldığında 4-5 değerlerini göstermişken, palamut meşesi boyası kullanıldığında 4 olarak tespit edilmiştir. Söz konusu teste tabi tutulan çalışmamızdaki tüm kumaşlarda nar kabuğu boyasının baskı işleminde uygulanmasının yıkamaya karşı en iyi renk haslığı sergilediğini göstermiştir (Tablo 4).

Doğal boyarmaddelerin kumaşlar üzerindeki suya karşı renk haslığı sonuçları Tablo 5'te verilmektedir. Test sonucunda çalışmamızda baskı uygulaması için kullanılan tüm doğal boyaların her kumaş üzerinde 5 değerinde suya karşı renk haslığına sahip oldukları belirlenmiştir (Tablo 5). Böylece, doğal boyalı kumaşların suya karşı renk haslıklarının yüksek değer göstermesi önemli bir avantaj olarak değerlendirilmektedir.

Tablo 5. Doğal boyarmaddelerin ekolojik kumaş üzerinde suya karşı renk haslığı
(Color fastness to water of natural dyes on ecological fabric)

Numune/Doğal Boya	Nar Kabuğu	Palamut Meşesi	Soğan Kabuğu
Pamuk	5	5	5
Kenevir	5	5	5
Keten	5	5	5

Hebeish vd. (2006), pamuk ve yün kumaşlarda kına kullanarak yaptığı baskı çalışmasında kuru ve yaş sürtünmeye karşı renk haslığı değerlerini pamuklu kumaşta 3-4 olarak bulmuştur. Rekaby vd. (2009) pigment baskı tekniğini kullanarak doğal kumaşların (yün, ipek, pamuk ve keten) doğal boyalarla baskısını incelemiştir. Kuru ve yaş sürtünmeye karşı renk haslığı değerleri pamuklu kumaşta 4-5 olarak tespit edilmiş, yıkama haslığı ise yine pamuklu kumaşta 4 olarak bulunmuştur. Hakeim vd. (2005) tarafından zerdeçal ile pamuklu kumaşa baskı işlemi uygulanmıştır. Baskı uygulanan kumaşların hem yaş hem de kuru sürtünmeye karşı renk haslıkları ve sertlik sonuçları iyi performans göstermiştir. Klaichoi vd. (2012) tarafından reaktif baskı tekniği kullanılarak akasya ile basılan pamuklu kumaş örnekleri incelenmiştir. Söz konusu kumaşların sürtünmeye karşı renk haslık değerleri kuru 4, yaş 3-4 olarak saptanmıştır. Ghada vd. (2021), çalışmasında jüt kumaşa ahşap el baskısı ile doğal boyalar kullanarak çevre dostu ve zararsız baskı uygulamasını ele almış; sürtünme, ışık ve yıkama haslığı açısından kumaşlarda elde edilen tüm bitkisel renklerin 4 aralığında değerler sergilediğini belirtmiştir. Kavyashree (2020), pamuklu kumaş üstüne mordan olarak şap kullanarak sapan ağacı bitkisi ile uyguladığı serigrafik baskı çalışmasında, kuru sürtme haslığını 5, yaş sürtme haslığını 4, yıkamaya karşı renk haslığını 5 olarak bulmuştur (Teli vd., 2014).

Çalışmamızda yukarıda değerlendirilen doğal boya kullanılan baskı çalışmalarda elde edilen bulgularla desteklenen nitelikte sonuçlar tespit edilmiştir. Elde edilen sonuca göre, çalışmamızda baskılı ekolojik kumaşların iyi haslık özelliklerine sahip olduğu ortaya çıkmıştır. Ayrıca, serigrafik baskı işleminin yüzeysel bir işlem olmasına rağmen doğal boyaların iyi bir şekilde nüfuz etmesinin ve tutunmasının sağlandığı gözlemlenmiştir. Böylece, doğal boyaların farklı kumaşların sadece boyanması değil, aynı zamanda baskı çalışmalarında da güzel sonuçlar sergileyebileceği ortaya konulmuştur. Ek olarak, suya karşı renk haslığı testinin kullanımdan kaldırılmış olmasına karşın doğal boyarmaddeler kullanarak dekoratif tekstil tasarımlarının değerlendirilmesi için söz konusu testin uygulanmasının fayda sağlayacağı kanaatindeyiz.

4. Sonuçlar (Results)

Doğal boyaların doğa ve insanlık üzerinde etkileri büyüktür. Sürdürülebilirlik ve çevre dostu boyalar hakkında artan farkındalık, araştırmacıların tekstil boyama ve baskı yaklaşımını yeniden canlandırılması için önemli bir etki yaratmaktadır. Bu çalışma, serigrafik baskıda doğal boyaların kullanılmasına yönelik gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, doğal boya ile baskı çalışması için çok umut verici olmuş ve baskı işlemlerinde sentetik direkt

boyaların yerine doğal boya kullanılmasının uygun olduğunu ortaya koymuştur. Sürdürülebilirlik açısından bakıldığında gerçekleştirdiğimiz baskı çalışmasının hem doğal kumaşlara uygulanması hem de bunun için zirai atıkların değerlendirilmesi bir nebze de olsa kimyasal boyaların ve ipliklerin çevreye verdiği zararlar, ağır metaller, alerjik boyarmaddeler, boyalı atık sular gibi olumsuz çevre etkilerini ortadan kaldırmaya ve ekolojik olarak olumlu etkiler yaratmaya katkı sağlayacağı kanaatindeyiz. Kullanılan zirai atık bitkiler boya baskı dışında apre işlemi için de tercih edilebilir. Ekolojik tekstillerde trend haline gelen doğal boyalarla yapılan baskı çalışması kaynak niteliğindedir. Tekstil baskı çalışmalarında nar kabuğu, soğan kabuğu ve palamut meşesi ile ilgili yapılan çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu nedenle çalışmamız özgün olup, kaynak niteliğindedir.

Böylece, doğal boyalar kullanarak farklı desen ve tasarım çalışmaları yaparak katma değeri yüksek ürünler elde etmek de hem birey hem de ülke ekonomisine fayda sağlayacaktır. Bu tür tekstil ürünlerinin üretimi ile, ürün çeşitliliği artırılması ve kullanımın yaygınlaştırılması sağlıklı ve ekolojik tekstil ürünlerine olan talebin insanlara ulaştırılmasında faydalı olacaktır. Tekstil üreticileri özellikle satın alma gücü yüksek pazarlarda doğal boyalar ile renklendirilmiş ve doğal malzeme ile dokunmuş tekstil ürünü seçeneğini sunduğu zaman satış rakamlarını daha yukarıya çekebilir ve bu yöndeki talebe de cevap vermiş olurlar.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

Kaynaklar (References)

- Ali, N.F., EL-Mohamedy, R.S.R. and El-Khatibl, E.M., 2011. Antimicrobial Activity of Wool Fabric Dyed with Natural Dyes. Research Journal of Textile and Appeal , 15, 1-10. <https://doi.org/10.1108/RJTA-15-03-2011-B001>.
- Al-Khateeb, D. S. M., 2019. Extraction Dyes From Two Natural Plants Olive Leaves and Beta Vulgaris and The Uses in Dyeing Textile. J. Phys.: Conf. Ser. 1294.
- Arora, J., Agarwal, P. and Gupta, G. 2017. Rainbow of Natural Dyes on Textiles Using Plants Extracts: Sustainable and Eco-Friendly Processes. Green and Sustainable Chemistry , 7, 35-47. <https://doi.org/10.4236/gsc.2017.71003>.
- Bechtold, T., Mussak, R., Mahmud, 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.
- Cardon, D., 2010. Natural Dyes, Our Global Heritage of Colors, Textile Society of America Symposium Proceedings, 12.
- Çolak, S., Kaygusuz, M., Arğun, F.N. 2020. Dyeing of Wool Yarns with *Parthenocissus quinquefolia* L. Leaves Extract. In "Theory and Research in Engineering", Ed. A. Hayaloğlu, Gece kitablığı, Ankara.
- Çolak, S.M., Kaygusuz, M., Arğun, F.N., 2021. Sustainable Eco-Printing With Agricultural Waste: Strawberry Sepals, III. International New York Cultural Interaction And Academic Studies Congress Proceedings Book 335-342.
- Deo, H.T., Desai, B.K., 1999. Dyeing of cotton and jute with tea as a natural dye, Coloration Technology, 115: 7-8, 224-227.
- El-Sayed, G. A., Othman, H., Hassabo, A. G. 2021. An Overview on the Eco-friendly Printing of Jute Fabrics Using Natural Dyes, J. Text. Color. Polym. Sci., Vol. 18, No. 2, pp. 239-245
- Garland, C. E., 1993. Color technology in textile chemistry, AATCC, In C. Gultekin (Ed.), pp.107-112.
- Hakeim, O. A., Abou-Okeil, A., Abdob, L. A. W., Waly, A., 2005. The influence of chitosan and some of its depolymerized grades on natural colour printing, Journal of Applied Polymers Science, Vol. 97, No. 2, pp. 559-563, ISSN 1097-4628.
- Hebeish, A. A., Ragheb, A. A., Nassar, S. H., Allam, E. E., El Thalouth, J. A., 2006. Technological Evaluation of Reactive Cyclodextrin in Cotton Printing with Reactive and Natural Dyes Journal of Applied Polymer Science, Vol. 102, 338-347 Wiley Periodicals, Inc.
- Hugh, S., 1998. "Introduction to Printing and Finishing", Pira International, İngiltere, ISBN: 1-85802-310-6
- IUPAC, 2019. Compendium of Chemical Terminology, 2nd ed. (the "Gold Book"). Compiled by A. D. McNaught and A. Wilkinson. Blackwell Scientific Publications, Oxford (1997). Online version (2019) created by S. J. Chalk. Karadağ R 2007. Doğal Boyamacılık, Ankara: Dösim.
- Joseph, M. L., 1972. Textile science. Holt Rinehart and Winston, Inc , U.S.A
- Klaichoi, C., Mongkhorrattanasit, R., Sarikanon, C., Intajak, P., and Saleeyongpuay, W., 2012. Eco-Friendly Printing of Cotton Fabric Using Natural Dye From Acacia Catechu Willd. RMUTP International Conference: Textiles & Fashion 2012 July 3-4, 2012, Bangkok Thailand
- Leggett, W.F., 1944. Ancient and Medieval Dyes, Brooklyn, NY Published by Coachwhip Publications, 2009 Isbn 10: 1930585896 ISBN 13: 9781930585898.
- M. Kavyashree, 2020. Printing of Textiles Using Natural Dyes: A Global Sustainable Approach, Chemistry and Technology of Natural and Synthetic Dyes and Pigments [Working Title], doi:10.5772/intechopen.93161.
- Mert, H., Doğan, Y., Başlar, S., 1992. Doğal Boya Eldesinde Kullanılan Bazı Bitkiler, Çevre dergisi , 14-17.
- Miah, M.R., Telegin, F., Rahman, Md. S., 2016. Eco-friendly dyeing of Wool fabric using natural dye extracted from onion's outer shell by using water and organic solvents. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET) e-ISSN: 2395 -0056, 03- 09, 450-467.
- Rekaby, M., Salem, A. A. and Nassar, S. H., 2009. Eco-friendly printing of natural fabrics using natural dyes from alkanet and rhubarb, Journal of the Textile Institute, 100: 6, 486- 495. <http://dx.doi.org/10.1080/00405000801962177>.
- Samanta, A.K. and Konar, A., in ed.: Kumbasar, E.P.A., 2011. Dyeing of Textiles with Natural Dyes, Natural dyes, In Tech, Croatia,

pp. 29-56.

Siva, R., 2007. Status of Natural Dyes and Dye-Yielding Plants in India. *Current Science*, 92, 916-925.

Teli, M.D., Sheikh, J., Shastrakar, P., 2014. Eco-friendly Antibacterial Printing of Wool Using Natural Dyes. *J Textile Sci Eng* 4: 151. doi:10.4172/2165-8064.1000151

Tortora, P.G., 1978. *Understanding textiles*. Macmillan publishing coInc ,new York lewis,D.S, bower M.G., and kettunen ,M.(1955). *Clothing construction and wardrobe planning the Macmillan company*. Newyork.

Uddin, M. G., 2015. Extraction of eco-friendly natural dyes from mango leaves and their application on silk fabric. *Textiles and Clothing Sustainability*, 1(1). doi:10.1186/s40689-015-0007-9.



TBDY 2018 İLE UYUMLU GERÇEK İVME KAYITLARI KULLANILARAK TSD SİSTEMLERE GİREN ENERJİNİN İNCELENMESİ

Ahmet DEMİR*

Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bolu, Türkiye

Anahtar Kelimeler

*Giren Enerji,
Gerçek İvme Kaydı,
Dinamik Analiz,
Tek Serbestlik
Dereceli Sistem,
Tasarım Spektrum.*

Öz

Yapılara giren enerjinin belirlenmesi enerji esaslı deprem mühendisliğinin en temel konusudur. Yer hareketi esnasında yapıya giren enerji histeretik enerji, kinetik enerji, elastik şekil değiştirme enerjisi ve sönümlenme enerjisinin toplamını oluşturmaktadır. Enerjiye dayalı tasarımda yer hareketi ile elde edilen enerji talebinin yapının enerji tüketme kapasitesinden daha düşük olması gerekmektedir. Bu yüzden yapıya giren enerjinin gerçekçi olarak belirlenmesi önem taşımaktadır. Bu çalışmada, farklı tasarım spektrumlarının sisteme giren enerji taleplerine etkisinin değerlendirilmesi amacıyla, tek serbestlik dereceli (TSD) sistemlerin doğrusal olmayan dinamik analizleri yapılmıştır. Bu amaçla toplamda 72 farklı TSD sistem dikkate alınmıştır. Farklı spektrumların etkisini incelemek amacıyla Türkiye’de bulunan 4 farklı konum ve bu konumlar ile uyumlu 3 farklı yerel zemin sınıfı dikkate alınmıştır. 12 farklı tasarım spektrumunun her biri ile uyumlu 4 farklı ivme kaydı seti elde edilmiş, toplamda ise 48 adet ivme kaydı seti doğrusal olmayan dinamik analizler için kullanılmıştır. Analiz sonuçlarında maksimum giren enerji taleplerinin ortalaması ile bu taleplere ait saçılımlar karşılaştırılmıştır. Analiz sonuçları incelendiğinde; farklı düzeyde tasarım spektrumu dikkate alındığında sisteme giren enerji taleplerinin de değiştiği görülmüştür. Ayrıca aynı tasarım spektrumu ile uyumlu farklı ivme setlerinden elde edilen maksimum giren enerji taleplerinin ortalaması birbirlerine yakındır. Son olarak, giren enerji taleplerinin set içerisindeki saçılımlarının yüksek olduğu ve buna karşılık setler arası saçılımın ise düşük olduğu görülmüştür.

INVESTIGATION OF THE INPUT ENERGY OF THE SDOFS USING REAL GROUND MOTION RECORD ACCORDING TO TBEC 2018

Keywords

*Input Energy,
Real Ground Motion Record,
Dynamic Analysis,
Single Degree of
Freedom System,
Design Spectrum.*

Abstract

Determination of the input energy for the structures is the most basic subject of energy-based earthquake engineering. The input energy of the structure during earthquakes motion constitutes the sum of hysteretic energy, kinetic energy, elastic deformation energy and damping energy. In energy-based design, the energy demand obtained by earthquake motion should be lower than the energy consumption capacity of the building. Thus, it is important to realistically determine the input energy of the structure. In this study, nonlinear dynamic analyses of single degree-of-freedom (SDOF) systems were performed in order to evaluate the effect of different design spectra on the input energy demands of the structures. For this purpose, a total of 72 different SDOF systems were considered. In order to examine the effect of different spectra, 4 different locations in Turkey and 3 different local soil classes compatible with these locations were taken into account. 4 different sets of ground motion records were obtained, compatible with each of the 12 different design spectra, and a total of 48 sets of ground motion records were used for nonlinear dynamic analysis. In the analysis results, the mean of the maximum input energy demands and the scattering of these demands were compared. When the analysis results are examined, considering the design spectrum at different levels, it has been observed that the input energy demands of the structures also change. In addition, the mean of the maximum input energy demands obtained from different acceleration sets compatible with the same design spectrum is close to each other. Finally, it has been seen that the scattering of the input energy demands within the set is high, while the scattering between the sets is low.

* İlgili yazar / Corresponding author: ahmetdemir@ibu.edu.tr, +90-374-254-10-00/5877

Alıntı / Cite

Demir, A., (2023). TBDY 2018 İle Uyumlu Gerçek İvme Kayıtları Kullanılarak TSD Sistemlere Giren Enerjinin İncelenmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(3), 1018-1029.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

A. Demir, 0000-0002-3526-0764

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	05.10.2022
Revizyon Tarihi / Revision Date	06.02.2023
Kabul Tarihi / Accepted Date	11.04.2023
Yayın Tarihi / Published Date	28.09.2023

INVESTIGATION OF THE INPUT ENERGY OF THE SDOFS USING REAL GROUND MOTION RECORD ACCORDING TO TBEC 2018

Ahmet Demir[†]

Bolu Abant İzzet Baysal University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Bolu, Türkiye

Highlights

- The effect of different design spectra on the input energy demands of the structures were evaluated.
- A total of 72 different SDOF systems with different periods and lateral strength ratio were considered.
- 4 different sets of ground motion records were obtained, compatible with each of the 12 different design spectra, and a total of 48 sets of ground motion records were used.

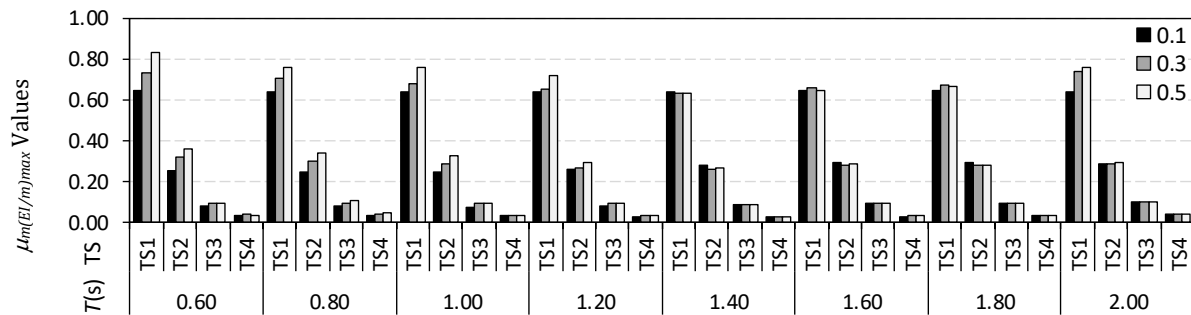
Graphical Abstract

Figure. $\mu_m(EI/m)_{max}$ Values for ZB soil class and design spectra

Purpose and Scope

The input energy of the structure during earthquakes motion constitutes the sum of hysteretic energy, kinetic energy, elastic deformation energy and damping energy. In this study, nonlinear dynamic analyses of single degree-of-freedom (SDOF) systems were performed to evaluate the effect of different design spectra on the input energy demands of the structures.

Design/methodology/approach

A total of 72 different SDOF systems were considered. To examine the effect of different spectra, 4 different locations in Turkey and 3 different local soil classes compatible with these locations were considered. 4 different sets of ground motion records were obtained, compatible with each of the 12 different design spectra, and a total of 48 sets of ground motion records were used for nonlinear dynamic analysis. In the analysis results, the mean of the maximum input energy demands and the scattering of these demands were compared.

Findings

The mean of the maximum input energy demands obtained from different acceleration sets compatible with the same design spectrum is close to each other. It has been seen that the scattering of the input energy demands within the set is high, while the scattering between the sets is low.

Originality

Determination of the input energy for the structures is the most basic subject of energy-based earthquake engineering. In energy-based design, the energy demand obtained by earthquake motion should be lower than the energy consumption capacity of the building. Thus, it is important to realistically determine the input energy of the structure. Considering the design spectrum at different levels, it has been observed that the input energy demands of the structures also change.

[†] Corresponding author: ahmetdemir@ibu.edu.tr, +90-374-254-10-00/5877

1. Giriş (Introduction)

Binaların sismik tasarımı ve/veya değerlendirilmesi için performans dayalı tasarım/değerlendirme yöntemleri son dönemlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Tasarım ve/veya değerlendirme kriterleri yapı öngörülen sismik tehlikeye maruz kaldığında dikkate alınan performans seviyesine ulaşma açısından ifade edilir. Bu nedenle performans dayalı tasarım/değerlendirme yönteminin; a) performans hedefi, b) yapıya etkiyen sismik taleplerin belirlenmesi ve c) performans değerlendirmesi olmak üzere üç temel adımı bulunmaktadır. Performans dayalı tasarım ile ilgili ilk önemli çalışma olan SEAOC Vision 2000 belgesinde (SEAOC 2000, 1995) yer değiştirmeye dayalı tasarım, enerji tabanlı tasarım ve dirençlilik esaslı tasarım olmak üzere çeşitli performans dayalı yaklaşım yöntemlerine yer vermiştir. Yer değiştirmeye dayalı yaklaşım günümüzde yaygın olarak benimsenmiş ve bu yaklaşımla yapıların maksimum ötelenme, maksimum görelî kat ötelenmesi vb. gibi maksimum tepki parametrelerine göre tasarımı ve/veya değerlendirilmesi yapılmaktadır (Priestley vd., 2007; Demir ve Kayhan 2016; Palancı vd., 2018; Dilmaç vd., 2018; Kayhan vd., 2018; Kumbasaroğlu, 2020; Palancı vd., 2021). Bu parametreler çeşitli performans seviyelerini veya sınır durumlarını tanımlamak için de kullanılmaktadır. (ATC-40, 1996; FEMA-440, 2005).

Yer değiştirmeye dayalı yaklaşımda yapının deprem etkisi altındaki davranışı ve yapıya ait elemanların doğrusal olmayan davranışı maksimum değerlerle ilişkilendirilmekte ve birikimli hasar dikkate alınmamaktadır. Yapısal elemanların hasar düzeyleri sismik taleplerin maksimum değerleri ile birlikte yüklemenin geçmişine de bağlıdır (Alıcı ve Sucuoğlu, 2016). Son yıllarda performans dayalı tasarım ve/veya değerlendirme yöntemlerinden biri olan enerji esaslı yöntemler yapıların tasarımı ve/veya değerlendirilmesi için kullanılmaya başlanmış ve bu yaklaşımın da güvenilir olabileceği gösterilmiştir (Fajfar vd., 1991; Akbaş ve Shen, 2003; Dindar, 2009; Merter, 2014; Dindar vd., 2015; Merter vd., 2017; Merter ve Uçar, 2018). Bu yüzden enerji esaslı tasarım ve/veya değerlendirme gelecek yıllarda daha çok kullanılmaya başlanacak ve sismik kodlarda da yer alacaktır.

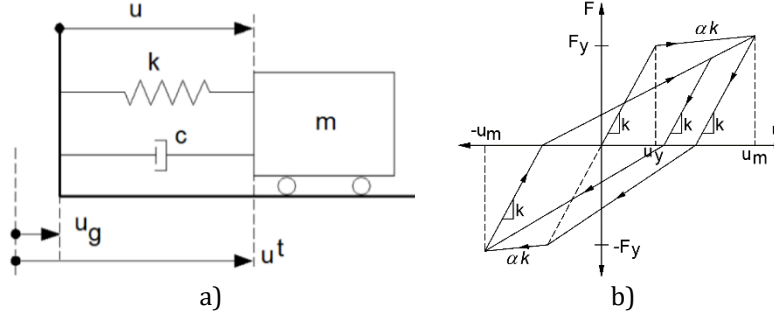
Enerji esaslı tasarım ve/veya değerlendirmede yapı sistemlerine giren enerjinin gerçeğe yakın olarak belirlenmesi en temel adımdır. Genel olarak yapıya giren enerji hafif şiddetli depremlerde yapıda sönüm ve elastik enerji olarak tüketilirken orta ve şiddetli depremlerde histeretik enerji ile büyük bir kısmı tüketilmektedir. Enerjiye dayalı tasarımda yer hareketi ile elde edilen enerji talebinin yapının enerji tüketme kapasitesinden daha düşük olması gerekmektedir. Yapıya giren enerjinin belirlenmesi ile ilgili literatürde birçok çalışma bulunmaktadır (Alıcı ve Sucuoğlu, 2018; Onur Merter, 2019; Uçar, 2020; Dedeoğlu ve Çalayır, 2021). Örneğin, Merter (2019), sabit sönüm oranı ve periyodu 0.1s ile 3.0s olan elastik TSD sistemler için doğrusal zaman tanım alanında analizler yapmış ve maksimum giren enerjiyi hesaplamıştır. Çalışmada 100 gerçek ivme kaydı içeren bir ivme kaydı seti kullanmıştır. Çalışma sonucunda maksimum giren enerjiye karşı maksimum spektral hız grafikleri elde etmiş ve literatürdeki bazı çalışmalar ile karşılaştırmıştır. Dedeoğlu ve Çalayır (2021), 3 adet TSD sistem dikkate alarak (TSD sistemlerin Elazığ il merkezinde olduğu varsayılmış) DBYYHY (2007) ve TBDY (2018)'nin zemin sınıflarına ait tasarım spektrumlarına göre ölçeklenmiş deprem ivme kayıtları altındaki davranışlarını değerlendirmiştir. Yönetmeliklerdeki zemin sınıfları ile uyumlu ölçeklendirilen 5 gerçek deprem ivme kaydı kullanılmıştır. Sonuçlarda, TSD sistemlerdeki kesme kuvvetleri, yer değiştirmeler ve enerji girdileri birbirleri arasında karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmanın amacı, TBDY'de tanımlanan farklı tasarım spektrumlarının TSD sisteme giren enerjiye etkisinin sayısal olarak değerlendirilmesidir. Bu amaçla, 4 farklı konum ve üç farklı yerel zemin sınıfı ile uyumlu olmak üzere 12 adet tasarım spektrumu elde edilmiştir. Her bir tasarım spektrumu ile uyumlu 4 farklı ivme kaydı seti dikkate alınmış ve toplamda 48 adet ivme kaydı seti oluşturulmuştur. Çalışma kapsamında, geniş bir yapı aralığını taramak için 72 adet (8 farklı periyot değeri 0.6s-2.0s (0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8 ve 2.0) ve 9 farklı yatay dayanım oranı 0.10-0.50 (0.10, 0.15, 0.20, 0.25, 0.30, 0.35, 0.40, 0.45, 0.50)) TSD sistem dikkate alınmıştır. TSD sistemlerin dinamik analizleri yapılarak yapı sistemine giren maksimum enerji talepleri elde edilmiştir. Maksimum giren enerji taleplerinin her bir set için ortalaması ve saçılımı hesaplanmıştır. Çalışmada kullanılan tasarım spektrumlarındaki farklılığın yapı sistemine giren maksimum enerji değerleri üzerindeki etkisi incelenmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

2. TSD Sistemler Ve Giren Enerjinin Hesaplanması (SDOF Systems and Calculation of the Input Energy)

3 boyutlu yapısal modeller literatürde bulunan uygun yöntemler kullanılarak TSD sistemlere dönüştürülebilir (ATC-40 1996). Bu amaçla 3 boyutlu binalara ait kapasite eğrisi ve modal özelliklerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bilgiler ile 3 boyutlu binalarda itme (pushover) analizi yapılarak kapasite eğrisi, modal analiz yapılarak ise modal özellikleri elde edilmektedir. Tek serbestlik dereceli sistemin hareket halindeki konumu tek parametre ile belirlenebilmektedir. TSD sistemin matematiksel modeli Şekil 1a'da görülmektedir. Şekil 1a'da görülen parametreler, u , k , c , m , u_g ve u_t sırasıyla zamana bağlı yer değiştirme, rijitlik, sönüm katsayısı, kütle, yerin deplasmanı ve toplam deplasmanı ifade etmektedir. Denklem 1'de TSD sistemin dış kuvvet altındaki dinamik

davranışına ait formülasyon gösterilmiştir. Denklemde verilen $m\ddot{u}_g(t)$ terimi, titreşime sebep olan yer hareketini belirtmektedir. Bu çalışmada TSD sistemin doğrusal olmayan davranışını dikkate almak için literatürde sık kullanılan Modifiye Clough (MC) çevrimsel davranış modeli kullanılmıştır (Clough ve Johnston,1966). Modifiye Clough (MC) çevrimsel davranış modeli Şekil 1b’de görülmektedir. Şekil 1b’de elastik davranışın sonunda F_y ’ye (akma dayanımı) ve akma deplasmanına (u_y) ulaşmakta ve bu noktadan sonra rijitlik artışı veya rijitlik artışı olmadan elastik deplasmanların yanında kalıcı plastik deplasmanlar da meydana gelmektedir. Bu çalışmada MC çevrimsel modelde F_y anından sonra α değeri sıfır ($\alpha=0$) yani akma noktasından sonra rijitlik artışı olmadığı kabul edilmiştir. Ayrıca Şekil 1b’de görüldüğü gibi MC modelde rijitlik değişimini de dikkate almaktadır. TSD sistemin sönüm değeri 0.05 (%5) olarak dikkate alınmıştır.



Şekil 1. a) TSD sistemin matematiksel modeli, b) MC çevrimsel davranışı
(a) Mathematical model of a SDOF system, b) MC hysteretic model

$$m\ddot{u}(t) + c\dot{u}(t) + ku(t) = -m\ddot{u}_g(t) \quad (1)$$

Enerji esaslı tasarımda doğrusal olmayan TSD sistemine giren enerji, diğer enerji terimlerinin (elastik şekil değiştirme enerjisi ve doğrusal olmayan şekil değiştirme enerjisi, sönüm enerjisi ve histeretik enerji) toplamıdır. Denklem 2’de verilen enerji bağıntısı, Denklem 1’in yer değiştirmeye bağlı olarak integralinin alınması ile elde edilmektedir (Chopra, 1995).

$$\int_0^{u(t)} m\ddot{u}(t) du + \int_0^{u(t)} c\dot{u}(t) du + \int_0^{u(t)} ku(t) du = - \int_0^{u(t)} m\ddot{u}_g(t) du \quad (2)$$

Denklem (2)’de TSD sistem kinematiğinde uygulanan $\frac{du}{dt} = \dot{u}(t)$ ilişkisinden faydalanılarak, du terimi yerine $\dot{u}(t)dt$ yazılarak denklem deprem hareketinin süresi ile ilişkilendirebilir. Buna göre, doğrusal olmayan TSD sistemin enerji dengesi Denklem 3’teki gibi elde edilir.

$$\int_0^t m\ddot{u}(t) \dot{u}(t) dt + \int_0^t c\dot{u}(t) \dot{u}(t) dt + \int_0^t ku(t) \dot{u}(t) dt = - \int_0^t m\ddot{u}_g(t) \dot{u}(t) dt \quad (3)$$

Denklem 3’te, eşitliğin sol tarafındaki ilk üç terim sırasıyla; kinetik enerji (E_K), sönüm enerjisi (E_D) ve elastik şekil değiştirme enerjisi ile sistemin akması sonucu plastik şekil değiştirme enerjisinin toplamını (E_A) göstermektedir. Doğrusal olmayan TSD sisteme yer hareketi ile aktarılan toplam enerji (E_I) ise Denklem 3’ün sağ tarafındaki ifade ile gösterilmiştir. Bu durumda; Denklem 3, Denklem 4’teki gibi gösterilebilir.

$$E_K + E_D + E_A = E_I \quad (4)$$

Bu çalışmada TSD sistemler farklı periyot ve yatay dayanım oranı dikkate alınarak temsil edilmiştir. Çalışmada periyot değeri 0.6s ile 2.0s arasında değişmekte olup 0.2s artışlarla (0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8 ve 2.0s) 8 farklı TSD sistem periyodu dikkate alınmıştır. TSD sistemin yatay dayanım oranı yani yatay yük kapasitesinin (V_t) sismik ağırlığına (W) oranı olan (V_t/W) ise 0.10 ile 0.50 arasında 0.05 artışla (0.10, 0.15, 0.20, 0.25, 0.30, 0.35, 0.40, 0.45, 0.50) değişmektedir. Sonuç olarak doğrusal olmayan TSD sisteme giren enerjinin incelenmesi için 8 farklı $T(s)$ değeri ile 9 farklı V_t/W ile toplamda 72 farklı TSD sistem dikkate alınmıştır. Doğrusal olmayan TSD sistemine giren enerjinin hesabı için Bispec (Hachem, 2004) programı kullanılmıştır.

3. Gerçek İvme Kaydı Setleri (Real Ground Motion Record Sets)

3.1. TBDY'ye Göre İvme Kaydı Seçimi (Ground Motion Record Selection According to TBEC)

Doğrusal olmayan dinamik analiz için kullanılan ivme kayıtlarının seçimi, özellikleri TBDY Madde 2.5'de belirtilen, deprem yer hareketi düzeyi ile uyumlu olarak yapılmıştır. Buna göre; deprem büyüklükleri, fay uzaklığı ve yerel zemin koşulları gibi parametreler dikkate alınmıştır. Çalışma kapsamında TSD sistemler kullanıldığından TBDY 2018'de bir boyutlu analiz için ivme kaydı seçimi ve ölçeklendirilmesi ile ilgili kurallar uygulanmıştır. TBDY'de ivme kaydı için belirtilen koşullar dikkate alınarak her bir sette 11 adet ivme kaydı ve aynı depremden en fazla üç kayıt seçilmiştir. Ayrıca, $0.2T_p$ ile $1.5T_p$ (T_p , binanın ilgili doğrultudaki hakim doğal titreşim periyodu) aralığında setteki kayıtların spektral ivme değerlerinin ortalaması yatay elastik tasarım spektrumu değerlerinden daha büyüktür.

3.2. Dikkate Alınan Tasarım Spektrumlar (Considered Design Spectra)

TBDY'de tasarım ve/veya performans değerlendirmesi deprem yer hareketi düzeyine (DD) göre tanımlanmıştır. DD-1, DD-2, DD-3 ve DD-4 olarak tanımlanan yer hareketi düzeyleri sırasıyla; çok seyrek [50 yılda aşılma olasılığı %2 (tekrarlanma periyodu 2475 yıl)] seyrek [50 yılda aşılma olasılığı sırasıyla %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl)], sık [50 yılda aşılma olasılığı %50 (tekrarlanma periyodu 72 yıl)] depremleri ve servis [50 yılda aşılma olasılığı %68 (tekrarlanma periyodu 43 yıl)] depremlerini temsil etmektedir. Bu çalışmada DD-2 yani 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem yer hareketi düzeyi dikkate alınmıştır.

TBDY'ye göre Türkiye'de her bir farklı konum için farklı tasarım spektrumu elde edilmektedir. Bunun için öncelikler deprem düzeyi ile uyumlu spektral ivme haritaları dikkate alınmaktadır (AFAD, Akkar vd. 2018). Türkiye Deprem Tehlike Haritalarında verilen harita spektral ivme katsayıları referans zemin koşulu dikkate alınarak %5 sönüm oranı için harita spektral ivmelerinin yerçekimi ivmesine bölünmesi ile boyutsuz olarak tanımlanmıştır. Haritalarda kısa periyot bölgesi için S_S katsayısı ve 1.0 saniye periyot için S_I katsayısı verilmiştir. S_S ve S_I katsayıları, Denklem 5 kullanılarak S_{DS} (kısa periyot bölgesi) ve S_{D1} 'e (1.0 saniye periyot) yani tasarım spektral ivme katsayılarına dönüştürülmektedir. Denklem 5'te F_S ve F_I yerel zemin etki katsayılarını ifade etmektedir. Denklem 6'da yatay elastik tasarım spektral ivmeleri $S_{ae}(T)$, doğal titreşim periyoduna bağlı olarak yerçekimi ivmesi [g] cinsinden verilmiştir. Denklemde, T_A ve T_B yatay elastik tasarım spektrumun köşe periyotları olup T_B değeri S_{D1} 'in S_{DS} 'e oranına, T_A ise bu oranın 0.2 katına eşittir. Denklemde T_L (sabit yer değiştirme bölgesine geçiş periyodu) TBDY 2.2.4.1'de de belirtildiği gibi 6s olarak dikkate alınmıştır.

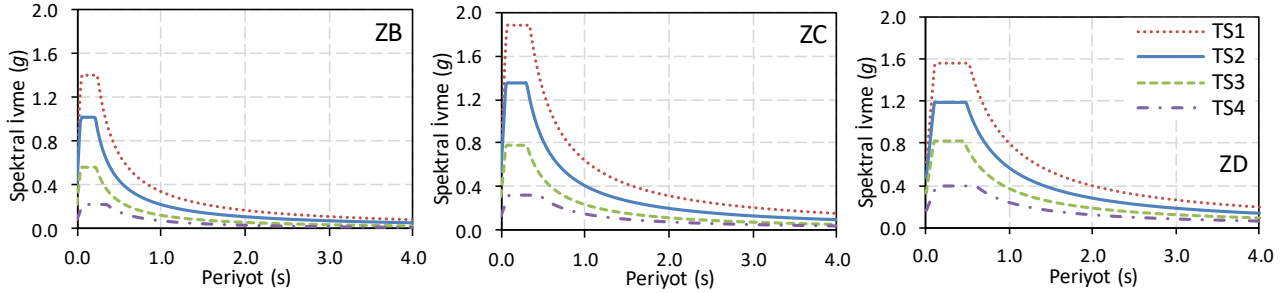
$$\begin{aligned} S_{DS} &= S_S F_S \\ S_{D1} &= S_I F_I \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} S_{ae}(T) &= \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_A}\right) S_{DS} & (0 \leq T \leq T_A) \\ S_{ae}(T) &= S_{DS} & (T_A \leq T \leq T_B) \\ S_{ae}(T) &= \frac{S_{D1}}{T} & (T_B \leq T \leq T_L) \\ S_{ae}(T) &= \frac{S_{D1} T_L}{T^2} & (T_L \leq T) \end{aligned} \quad (6)$$

Bu çalışmada, tasarım spektrumu farklılığının doğrusal olmayan TSD sistemine giren enerji (E_I) üzerindeki etkisini değerlendirmek amacıyla Türkiye'de farklı konumlarda bulunan 4 farklı şehir merkezine ait tasarım spektrumu seçilmiştir. Dikkate alınan şehirler, çalışmada kullanılan tasarım spektrumlarının her birinin belirli bir düzeyde olduğu ve geniş bir aralığın taranabilmesi amacıyla özellikle Sakarya (Tasarım Spektrumu1 (TS1), İzmir (TS2), Van (TS3) ve Şanlıurfa (TS4) olarak seçilmiştir. Başka konumlar için elde edilen tasarım spektrumlarının söz konusu şehirlere yaklaşık ve/veya farklı elde edilebileceği gerçeğinden dolayı, çalışmada şehirlerden bahsedilmemiştir ve tasarım spektrumları (TS) olarak dikkate alınmıştır. TBDY'de tanımlı farklı yerel zemin sınıflarının etkisinin de incelenmesi amacıyla; ZB, ZC ve ZD olmak üzere 3 farklı yerel zemin sınıfı dikkate alınmıştır. Böylece, araştırma kapsamında, 4 farklı konum ve 3 farklı yerel zemin sınıfı olmak üzere 12 farklı tasarım spektrumu dikkate alınmıştır.

Şekil 2'de çalışma kapsamında kullanılan yerel zemin sınıflarına ait toplamda 12 farklı tasarım spektrumu verilmiştir. Şekil 2'den de anlaşıldığı üzere en yüksek tasarım spektrum değerleri TS1 için elde edilmiş iken en düşük tasarım spektrum değerleri ise TS4 için elde edilmiştir. TS1'den TS4'e doğru, tasarım spektrumlarına ait spektral ivme değerleri azalmaktadır. Bu araştırma bulgusu tüm yerel zemin sınıfları için geçerlidir. Örneğin, ZB zemin sınıfında $T=0.6s$ 'de elde edilen spektral ivme değerleri TS1'den TS4'e doğru sırasıyla 0.57, 0.37, 0.21 ve

0.13g iken $T=2.0s$ 'de ise 0.17, 0.11, 0.06 ve 0.04g olarak elde edilmiştir. ZC zemin sınıfında $T=1.0s$ 'de elde edilen spektral ivme değerleri TS1'den TS4'e doğru 0.64, 0.41, 0.24 ve 0.15g'dir. ZD zemin sınıfında ise $T=1.0s$ 'de elde edilen spektral ivme değerleri TS1'den TS4'e doğru sırasıyla 0.80, 0.57, 0.37 ve 0.24g'dir. Tasarım spektrumları, ZB ve ZC zemin sınıfı için periyot aralığı, 0.6s ile 2.0s arasında (çalışmada dikkate alınan TSD sistemlerin periyot aralığı) karşılaştırıldığında, TS1 için elde edilen tasarım spektral ivme değerlerinin, TS2'ye göre 1.55 katına kadar yükselmektedir. ZB ve ZC zemin sınıfında TS1'in TS4'e ait spektral ivme değerlerine oranı ise 4.37'dir. ZD zemin sınıfında ise TS1'in TS2'ye oranı 1.42 iken TS1'in TS4'e oranı ise 3.41 katına kadar yükselmektedir.



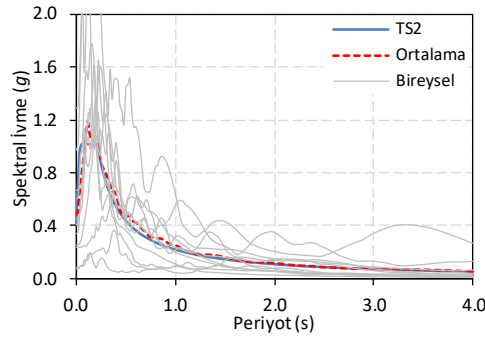
Şekil 2. Çalışmada dikkate alınan farklı düzeylerdeki tasarım spektrumları
(Design spectra at different levels considered in this study)

12 adet tasarım spektrum kullanılarak TBDY ile uyumlu ivme kaydı seçimi için kullanılan ivme kayıtları, üç farklı yer hareketi veri tabanından temin edilmiştir (Ambraseys vd., 2004, Akkar vd., 2014, Ancheta vd., 2014). Bilindiği gibi ivme kayıtları yer hareketi veri tabanlarında depremin büyüklüğü (M_w), kayıtların kaydedildiği istasyonun faya olan uzaklığı (R) ve kayıtların kaydedildiği istasyonların zemin sınıfı gibi birçok parametreye göre sınıflandırılmaktadır. Çalışmada ivme kayıtları sözü edilen parametrelere göre ayarlanmıştır. Bu parametrelerin; 1- M_w değerinin en az 5.0 olması, 2- R değerinin 10 ile 60 km arasında olması ve çalışmada kullanılan zemin sınıflarına ait $(V_S)_{30}$ değerlerinin dikkate alınması koşullarına göre, ZB zemin sınıfında 406 adet ivme kaydı, ZC zemin sınıfında 2016 adet ivme kaydı ve ZD zemin sınıfında ise 1564 adet ivme kaydı ilgili veri tabanları kullanılarak indirilmiş ve doğrusal olmayan dinamik analizlerde ivme kaydı seçimi için kullanılmıştır.

İvme kaydı setlerinin elde edilmesinde SpeCRS (Kayhan vd., 2022) programı kullanılmıştır. İvme kaydı seçiminde TBDY'de belirtilen şartlarla beraber bu çalışmada ilave kriterler de dikkate alınmıştır. Birincisi, ivme kaydı setlerinde herhangi bir yer hareketinin iki yatay bileşeninden yalnızca birinin yer alması sağlanmıştır. İkincisi, kayıtlara uygulanan ölçeğin 0.25-4.00 arasında olması sağlanmıştır. Tablo 2'de maksimum ölçek katsayısı 3.908 ve minimum ölçek katsayısı 0.381'dir. Ayrıca, TBDY'de ilgili periyot aralığında set içerisindeki ivme kayıtlarına ait ortalama spektrumun tasarım spektrumundan daha büyük olması (en az 1.00; en fazla 1.20) koşulu için, çalışmada üst sınır dikkate alınmıştır ve analizlerde, ortalama spektrum ile tasarım spektrum arasındaki uyumun artırılması amacı ile 1.20 oranı kullanılmıştır. Şekil 3'te, Tablo 2'de verilen ZB zemin sınıfı ve TS2 için 1. sete ait bireysel spektrumlar, ortalama spektrum ve tasarım spektrumu verilmiştir. Şekil 3'te, tasarım spektrum ile sete ait ortalama spektrum arasında ($0.2T$ ile $1.5T$ aralığında oran 1.00 ile 1.20 arasındadır) iyi bir uyum sağlandığı görülmektedir.

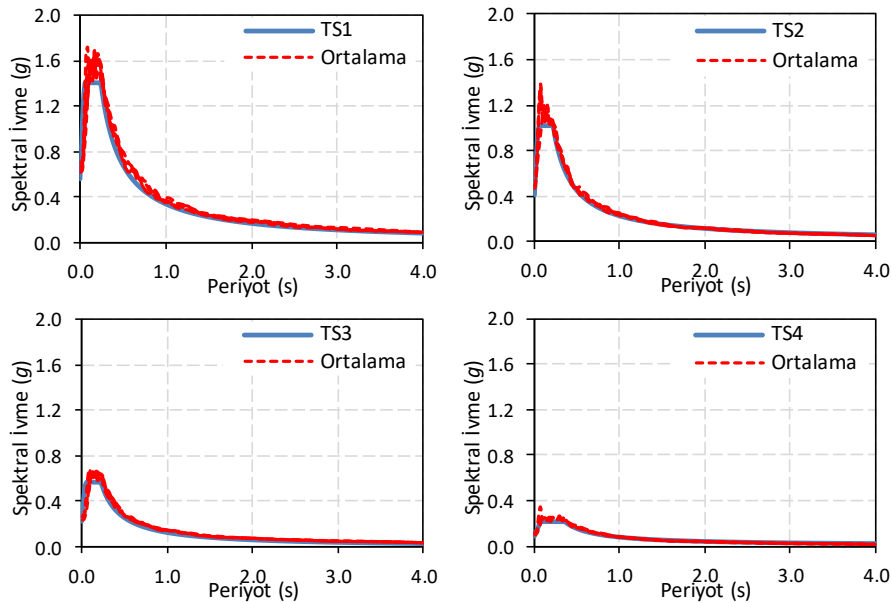
Tablo 1. ZB zemin sınıfı ve TS2 için 1. sete ait bilgiler (Information of the first set for ZB soil class and TS2)

Kayıt Sıra	Kayıt No	Bileşen	Ölçek
1	142	5819X	3.733
2	218	9071X	3.908
3	310	766Y	1.786
4	95	1228X	2.809
5	221	196X	0.381
6	398	6267Y	2.946
7	229	367X	3.571
8	228	366X	3.132
9	302	649Y	3.572
10	422	7142Y	1.379
11	466	360Y	3.797



Şekil 3. ZB zemin sınıfı ve TS2 için 1. Sete ait tasarım, ortalama ve bireysel spektrumlar (Target, mean and individual spectra of Set1 for soil class ZB and TS2)

ZB sınıfı zemin ile uyumlu olarak elde edilen (4 farklı ivme kaydı seti) ortalama ve tasarım spektrumları Şekil 4'te verilmiştir. ZC ve ZD zemin sınıfları için de her bir tasarım spektrum ile uyumlu 4 farklı ivme kaydı seti elde edilmiş ve toplamda bu zeminler için 32 adet ivme kaydı seti kullanılmıştır. Bu çalışmada tekrara düşmemek için ZC ve ZD zemin sınıfları ile uyumlu ivme kaydı setlerine ait bilgiler verilmemiştir.

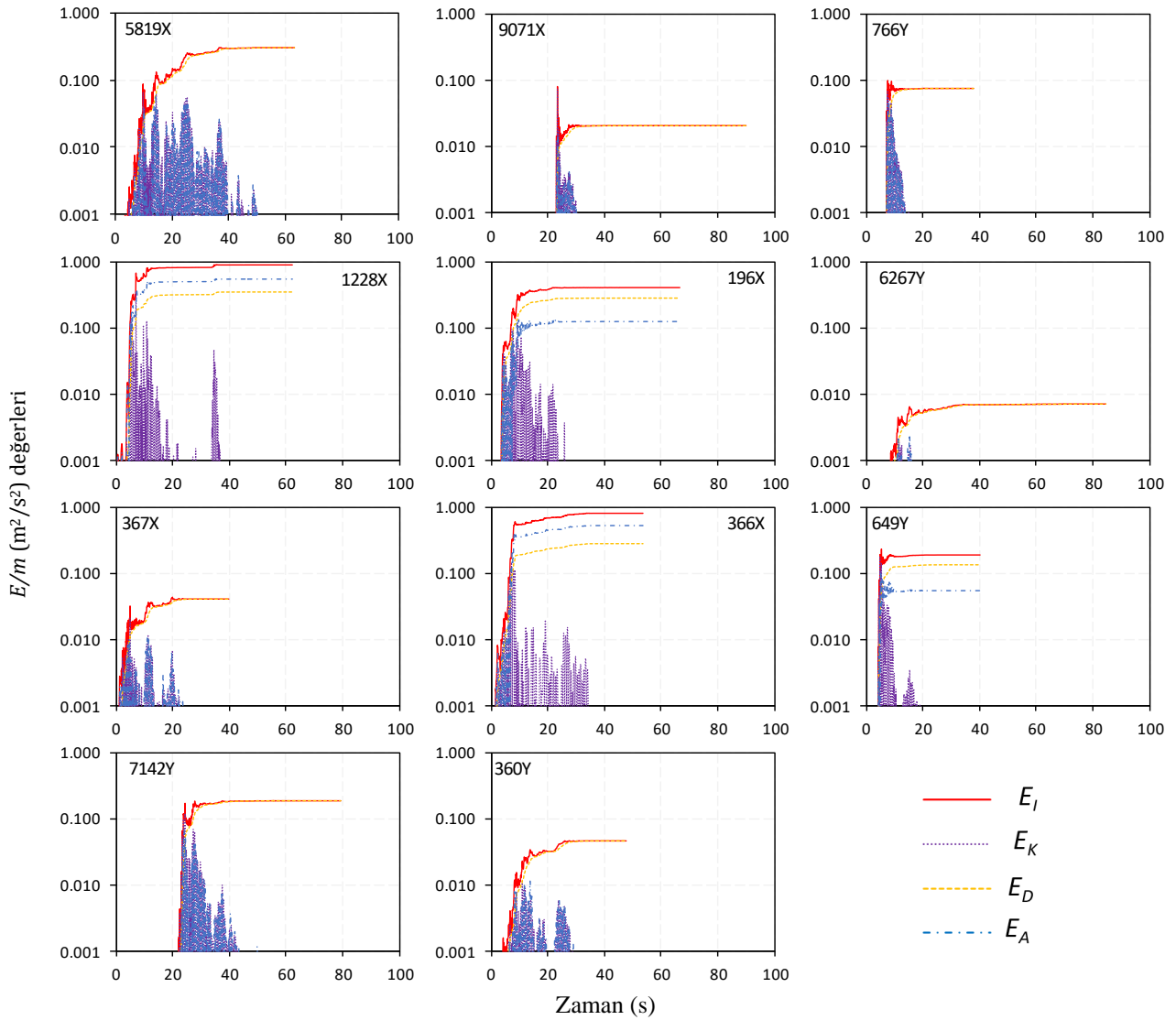


Şekil 4. ZB zemin sınıfı için setlere ait ortalama ve tasarım spektrumları (Mean and target spectra of sets for soil class ZB)

4. Analiz Sonuçları (Analysis Results)

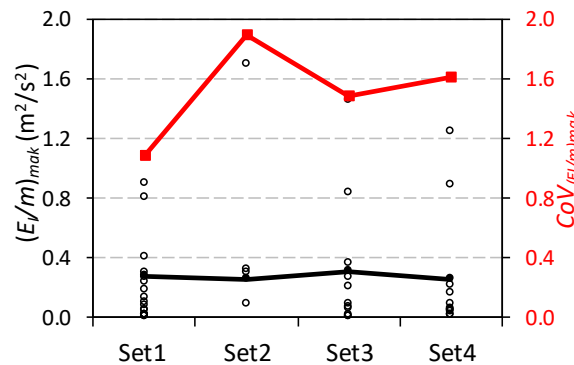
Bu çalışmada, 48 adet ivme kaydı seti (11 adet ivme kaydı her bir set içerisinde bulunmakta) ve 9 farklı V_t/W ve 8 farklı T olmak üzere 72 farklı TSD sistemi kullanılarak, toplamda $48 \times 11 \times 72 = 38,016$ adet doğrusal olmayan dinamik analiz yapılmış ve sonuçlar incelenmiştir. Doğrusal olmayan dinamik analizler sonucunda ivme kaydı seti içerisinde bulunan her bir kayıt için maksimum giren enerji/kütle $(E_I/m)_{mak}$ değerleri elde edilmiştir. TBDY'ye göre 11 veya daha fazla ivme kaydı kullanıldığında yapısal tepkilerin ortalaması dikkate alınmaktadır. Bu sebeple, çalışma kapsamında kullanılan her bir set için giren enerjinin ortalama $(m(E_I/m)_{mak})$ değerleri elde edilmiştir. Çalışma kapsamında aynı tasarım spektrumuyla uyumlu 4 farklı ivme kaydı seti kullanıldığından karşılaştırma yapmak için dört farklı $m(E_I/m)_{mak}$ değerinin ortalaması yani $(\mu_{m(E_I/m)_{mak}})$ değerleri hesaplanmıştır.

Şekil 5'te ZB zemin sınıfı ve TS2 için 1. settaki ivme kayıtlarına ait E_K/m , E_D/m , E_A/m ve E_I/m değerlerinin zamana bağlı değişimleri $T=1.0s$ ve $V_t/W=0.25$ olan TSD sistemi için elde edilmiştir. Bu çalışmada doğrusal olmayan TSD sistemlere giren enerji incelendiğinden karşılaştırmalar giren enerji/kütle E_I/m üzerinden yapılmıştır. Şekilde görüldüğü gibi farklı ivme kayıtları kullanıldığında elde edilen E_I/m değerleri de değişmektedir. Sözgelimi, $(E_I/m)_{mak}$ değerleri 5819X No'lu kayıt için $0.30 \text{ m}^2/\text{s}^2$ olarak elde edilmiş olup, 9071X, 766Y, 1228X, 196X, 6267Y, 367X, 366X, 649Y, 7142Y ve 360Y No'lu kayıtlar için sırasıyla 0.08, 0.10, 0.90, 0.40, 0.01, 0.04, 0.81, 0.23, 0.19 ve $0.05 \text{ m}^2/\text{s}^2$ olarak hesap edilmiştir. Dolayısıyla 1. Sete ait elde edilen 11 farklı $(E_I/m)_{mak}$ değerinin ortalaması yani $m(E_I/m)_{mak}$ değeri $0.28 \text{ m}^2/\text{s}^2$ olarak elde edilmiş ve Şekil 6'da içi dolgulu siyah çizgi ile Set1'de gösterilmiştir.



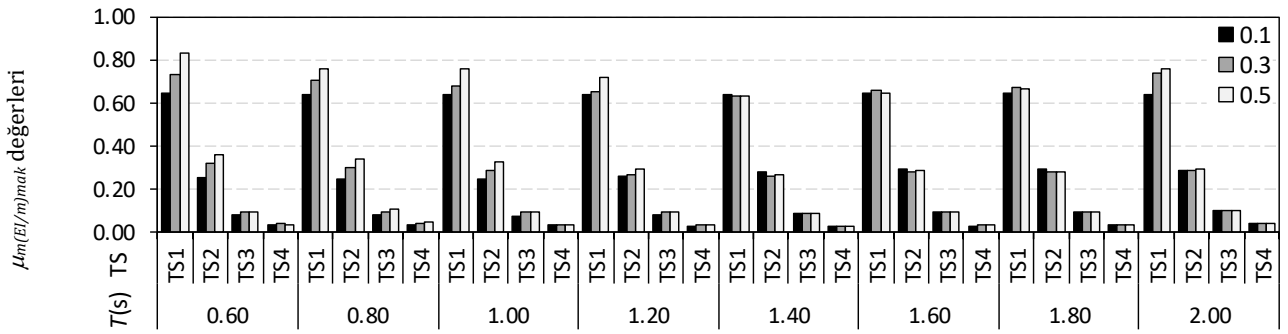
Şekil 5. ZB zemin sınıfı ve TS2 için 1. settteki ivme kayıtlarına ait E/m değerleri ($T=1.0s$, $V_t/W=0.25$) (E/m values of ground motion records in the 1st set for ZB soil class and TS2 ($T=1.0s$, $V_t/W=0.25$))

Şekil 6'da $T=1.0s$ ve $V_t/W=0.25$ olan TSD sistem için ZB zemin sınıfında dört farklı ivme kaydı setine (Set1, Set2, Set3 ve Set4) ait $(E_I/m)_{mak}$ değerleri verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere, her bir set ortalamalarına ait $m_{(E_I/m)_{mak}}$ değerleri (Set1, Set2, Set3 ve Set4 için sırasıyla; 0.28, 0.26, 0.31 ve 0.26 m^2/s^2) birbirlerine oldukça yakındır. Dört setten elde edilen $\mu_{m(E_I/m)_{mak}}$ değerleri dört farklı $m_{(E_I/m)_{mak}}$ değerinin ortalaması yani 0.28 m^2/s^2 $((0.28+0.26+0.31+0.26)/4)$ olarak elde edilmiştir. Şekil 6'da her bir $m_{(E_I/m)_{mak}}$ değeri için $CoV_{(E_I/m)_{mak}}$ değerleri de verilmiştir. $CoV_{(E_I/m)_{mak}}$ değerleri her bir set için sırasıyla, 1.09, 1.89, 1.48 ve 1.61 olarak elde edilmiştir. Dört setin $CoV_{(E_I/m)_{mak}}$ değerlerinin ortalaması ($\mu_{CoV_{(E_I/m)_{mak}}}$) 1.52 olarak hesap edilmiştir. Çalışmanın bundan sonraki kısımları için $\mu_{m(E_I/m)_{mak}}$ ve $\mu_{CoV_{(E_I/m)_{mak}}}$ değerleri üzerinden karşılaştırma yapılmıştır.



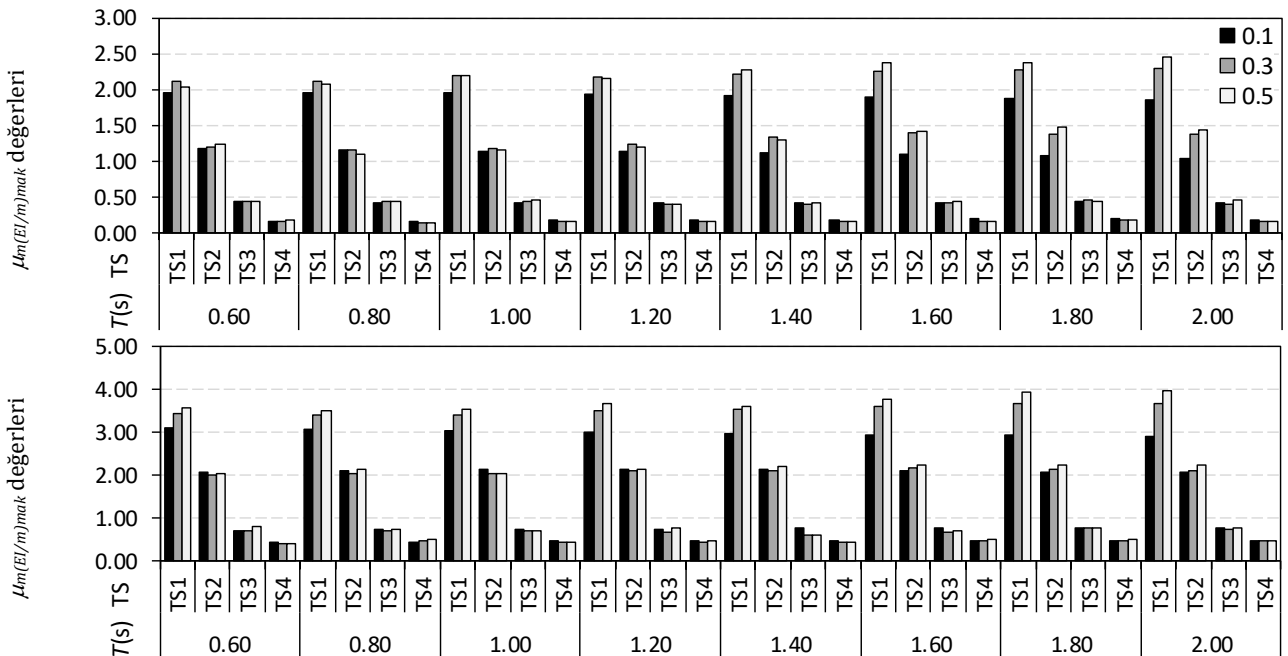
Şekil 6. ZB zemin sınıfında farklı ivme kaydı setleri için $(E_I/m)_{mak}$ ve $CoV_{(E_I/m)_{mak}}$ değerleri ($T=1.0s$, $V_t/W=0.25$) ($(E_I/m)_{mak}$ and $CoV_{(E_I/m)_{mak}}$ values ($T=1.0s$, $V_t/W=0.25$) for different sets in ZB soil class)

ZB zemin sınıfında tasarım spektrumları, periyot ve yatay dayanım oranları 0.10, 0.30 ve 0.50 olan TSD sistemler için $\mu_{m(EI/m)_{mak}}$ değerleri Şekil 7’de verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi en yüksek $\mu_{m(EI/m)_{mak}}$ değerleri TS1’de elde edilmiştir. En düşük $\mu_{m(EI/m)_{mak}}$ değerleri ise TS4’de elde edilmiştir. TS1’den TS4’e doğru $\mu_{m(EI/m)_{mak}}$ değerleri azalma eğilimindedir. Bu sonucun sebebi, Bölüm 3’te belirtildiği üzere TBDY’ye göre tanımlanan tasarım spektrumlarının farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Sözelimi, $T=1.0s$ ve $V_t/W=0.10$ için $\mu_{m(EI/m)_{mak}}$ değerleri TS1’den TS4’ doğru sırasıyla 0.64, 0.25, 0.08 ve 0.03 m^2/s^2 olarak elde edilmiştir. Bu durum, tüm periyot ve yatay dayanım oranları için geçerlidir. TSD sistemlerin periyot değerleri arttıkça $\mu_{m(EI/m)_{mak}}$ değerleri üzerindeki etkisinin az olduğu söylenebilir. Bu durum, $V_t/W=0.30$ için $\mu_{m(EI/m)_{mak}}$ değerlerinin TS1’de $T=0.6s$ ’den $T=2.0s$ ’ye doğru sırasıyla 0.74, 0.70, 0.68, 0.65, 0.64, 0.66, 0.67 ve 0.70 m^2/s^2 olarak elde edilmesi ile doğrulanmaktadır. Bu değerler TS2 için 0.32, 0.30, 0.29, 0.27, 0.26, 0.28, 0.28 ve 0.29 m^2/s^2 ’dir. Yatay dayanım oranları özellikle TS1, TS2 ve TS3 üzerinde ve düşük periyot değerlerinde etkili olurken, TS4 üzerinde etkisinin düşük olduğu görülmektedir. Şöyle ki; $T=0.6s$ ’de TS1 için $\mu_{m(EI/m)_{mak}}$ değerleri V_t/W değerleri 0.10, 0.30 ve 0.50 olduğunda 0.65, 0.74 ve 0.84 m^2/s^2 iken, TS4’te ise bu değerler 0.035, 0.040 ve 0.038 m^2/s^2 ’dir. $T=2.0s$ ’de TS2 için $\mu_{m(EI/m)_{mak}}$ değerleri V_t/W değerleri 0.10, 0.30 ve 0.50 olduğunda 0.290, 0.288 ve 0.294 m^2/s^2 iken, TS3’te ise bu değerler 0.099, 0.101 ve 0.101 m^2/s^2 ’dir.



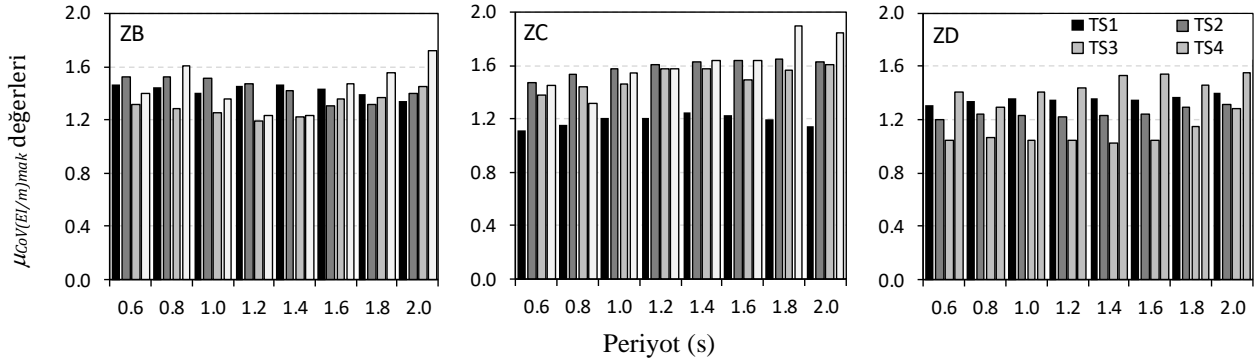
Şekil 7. ZB zemin sınıfı ve tasarım spektrumları için $\mu_{m(EI/m)_{mak}}$ değerleri
($\mu_{m(EI/m)_{mak}}$ values for ZB soil class and design spectra)

Şekil 8’de sırasıyla ZC ve ZD zemin sınıfında tasarım spektrumları, periyot ve yatay dayanım oranları 0.10, 0.30 ve 0.50 olan TSD sistemler için $\mu_{m(EI/m)_{mak}}$ değerleri verilmiştir. Her iki şekilde de görüldüğü gibi en yüksek $\mu_{m(EI/m)_{mak}}$ değerleri TS1 için elde edilmiş iken, en düşük $\mu_{m(EI/m)_{mak}}$ değerleri ise TS4 için elde edilmiştir. TS2 için elde edilen $\mu_{m(EI/m)_{mak}}$ değerleri TS1’den daha düşük iken TS3’ten daha büyüktür. Her iki zemin için de farklı TS’ler için elde edilen $\mu_{m(EI/m)_{mak}}$ değerlerinin birbirlerinden farklı olması TBDY’ye göre tanımlanan tasarım spektrumlarının farklı olmasından kaynaklanmaktadır. TS1 ve TS2 için yatay dayanım oranları ZC zemin sınıfında etkili iken, ZD zemin sınıfında ise yalnız TS1 için etkilidir. Periyot değeri değişiminin $\mu_{m(EI/m)_{mak}}$ değerleri üzerinde etkisinin az olduğu ZC ve ZD zemin sınıfları için de söylenebilmektedir.



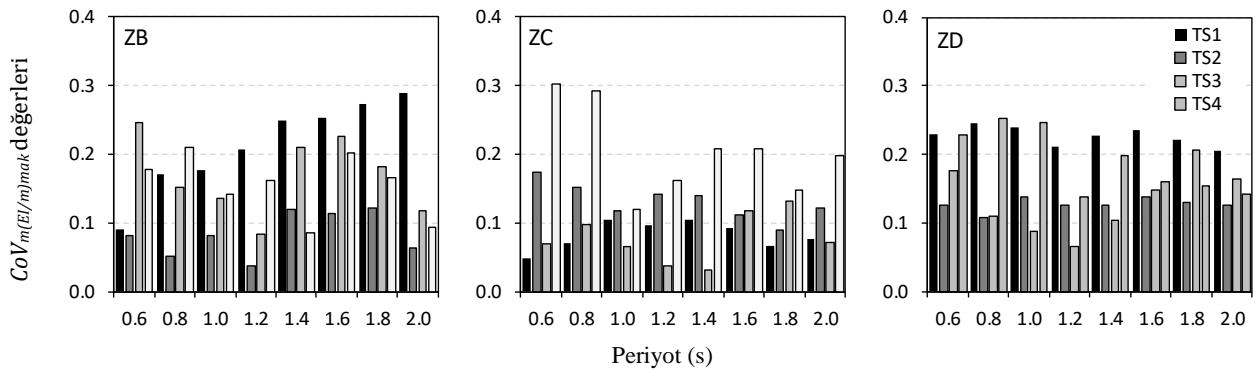
Şekil 8. ZC (üst) ve ZD (alt) zemin sınıfı ve tasarım spektrumları için $\mu_{m(EI/m)_{mak}}$ değerleri
($\mu_{m(EI/m)_{mak}}$ values for ZC (upper) and ZD (lower) soil class and design spectra)

Şekil 7-8 birlikte incelendiğinde, ZB, ZC ve ZD zemin sınıflarında, TS1 için elde edilen $\mu_{m(EI/m)_{mak}}$ değerlerinin TS2 için elde edilen $\mu_{m(EI/m)_{mak}}$ değerlerine oranı sırasıyla 2.5, 1.8 ve 1.7 olarak hesap edilmiştir. TS1'in TS4'e göre hesap edilen oranı ise sırasıyla 19.5, 15.5 ve 8.6 katına kadar artmıştır. Ayrıca, $\mu_{m(EI/m)_{mak}}$ değerlerinin ZB zemin sınıfından ZD zemin sınıfına doğru arttığı da görülmüştür. Bu sonuç tüm periyot, tasarım spektrumları ve yatay dayanım oranları için geçerlidir. Şöyle ki; periyodu 0.6s ve V_t/W değeri 0.10 olduğunda TS1 için $\mu_{m(EI/m)_{mak}}$ değerleri ZB zemin sınıfında $0.65 \text{ m}^2/\text{s}^2$ iken, ZC ve ZD sınıfında ise 1.96 ve $3.10 \text{ m}^2/\text{s}^2$ 'dir. TS3 için bu değerler ZB, ZC ve ZD zemin sınıfında sırasıyla 0.08 , 0.43 ve $0.72 \text{ m}^2/\text{s}^2$ iken TS4'te ise 0.035 , 0.16 ve $0.44 \text{ m}^2/\text{s}^2$ olarak elde edilmiştir.



Şekil 9. Tüm tasarım spektrumları için set içi $\mu_{CoV(EI/m)_{mak}}$ değerleri ($V_t/W=0.25$)
($\mu_{CoV(EI/m)_{mak}}$ values of in the set for all design spectra ($V_t/W=0.25$))

Şekil 9'da çalışma kapsamında dikkate alınan tüm tasarım spektrumları, zemin sınıfı ve yatay dayanım oranı 0.25 olan TSD sistem için elde edilen $\mu_{CoV(EI/m)_{mak}}$ değerleri verilmiştir. Şekil 9'da görüldüğü gibi, $\mu_{CoV(EI/m)_{mak}}$ değerleri tüm tasarım spektrumları (TS1, TS2, TS3 ve TS4) için oldukça yüksektir. Şöyle ki; $\mu_{CoV(EI/m)_{mak}}$ değerlerinin tüm zemin sınıflarında 1.00'den büyük olduğu görülmektedir. Yüksek $\mu_{CoV(EI/m)_{mak}}$ değerleri set içerisinde yer alan ivme kayıtlarından elde edilen $(EI/m)_{mak}$ değerlerinin, sete ait $m(EI/m)_{mak}$ değeri etrafındaki saçılımın yüksek olduğunu göstermektedir. Şöyle ki; $\mu_{CoV(EI/m)_{mak}}$ değerleri, tüm tasarım spektrumlarında ZB zemin sınıfında 1.19-1.72 arasında iken, ZC ve ZD zemin sınıfları için ise 1.11-1.89 ve 1.03-1.56 arasındadır. Çalışmada her bir set için saçılıma ek olarak ivme kaydı setleri arasındaki saçılımlar da incelenmiştir. Buna göre; dört farklı ivme kaydı setinden elde edilen dört farklı $m(EI/m)_{mak}$ değerlerinin, $\mu_{m(EI/m)_{mak}}$ etrafındaki saçılımları ($CoV_{m(EI/m)_{mak}}$) hesaplanmıştır ve Şekil 10'da verilmiştir. Şekil 10'da, $CoV_{m(EI/m)_{mak}}$ değerleri, tüm periyot ve zemin sınıflarında 0.30 veya daha düşük olarak ölçülmüştür. Şöyle ki; $CoV_{m(EI/m)_{mak}}$ değerleri, tüm tasarım spektrumlarında ZB zemin sınıfında 0.04-0.29 arasında iken, ZC ve ZD zemin sınıfları için ise 0.03-0.30 ve 0.07-0.35 arasındadır.



Şekil 10. Tüm tasarım spektrumları için setler arası $CoV_{m(EI/m)_{mak}}$ değerleri ($V_t/W=0.25$)
($CoV_{m(EI/m)_{mak}}$ values between sets for all design spectra ($V_t/W=0.25$))

5. Sonuçlar (Conclusions)

Bu çalışmada, TBDY dikkate alınarak tanımlanan tasarım spektrumları arasındaki farklılığın, doğrusal olmayan dinamik analizlerden elde edilen enerji/kütle $(EI/m)_{mak}$ değerleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla, TBDY'ye göre 12 tasarım spektrumu belirlenmiştir. Belirlenen 12 farklı tasarım spektrumunun her biri ile uyumlu dörder adet ivme kaydı seti olmak üzere, toplamda 48 (12×4) ivme kaydı seti elde edilmiştir. TBDY ile uyumlu $48 \times 11 \times 72 = 38,016$ ($12 \times 4 = 48$ adet ivme kaydı seti, her bir sette bulunan kayıt sayısı 11 ve 72 adet TSD sistem) adet doğrusal olmayan dinamik analiz yapılmıştır ve enerji/kütle $(EI/m)_{mak}$ değerleri hesap edilmiştir. Sunulan mevcut çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde özetlenebilir:

- Doğrusal olmayan dinamik analizler sonucunda, set içerisindeki farklı ivme kayıtlarından, farklı $(E_I/m)_{mak}$ değerleri elde edilmiştir. 11 farklı $(E_I/m)_{mak}$ değerlerinin ortalamasından elde edilen $m_{(E_I/m)_{mak}}$ değerleri farklı setler için birbirlerine oldukça yakın hesap edilmiştir. Yani dikkate alınan tasarım spektrumları ile uyumlu farklı ivme kaydı setleri kullanıldığında elde edilecek $m_{(E_I/m)_{mak}}$ değerleri birbirlerine yakın olacaktır.
- Farklı setlerin $m_{(E_I/m)_{mak}}$ değerlerinin ortalaması olan $\mu_{m_{(E_I/m)_{mak}}}$ değerleri zemin sınıfı değiştiğinde yani ZB zemin sınıfından, ZD zemin sınıfına doğru artmıştır.
- $\mu_{m_{(E_I/m)_{mak}}}$ değerleri üzerinde TSD sistemlerin periyot değerlerindeki değişimin etkisi düşük elde edilmiş ve bu sonuç çalışmada dikkate alınan tüm zemin sınıfları için de geçerli olduğu görülmüştür
- Yatay dayanım oranının (F_y/W) özellikle TS1, TS2 ve TS3 üzerinde ve düşük periyot değerlerinde etkili olurken, ST4 üzerinde etkisinin az olduğu görülmektedir.
- Set içi saçılım dikkate alındığında, $\mu_{CoV_{(E_I/m)_{mak}}}$ değerleri tüm tasarım spektrumları, zemin sınıfı ve yatay dayanım oranları için yüksek olarak elde edilmiştir.
- İvme kaydı setler arası saçılım incelendiğinde $CoV_{m_{(E_I/m)_{mak}}}$ değerleri tüm periyot ve zemin sınıflarında 0.30 veya daha düşüktür.

Veri Kullanılabilirliği Bildirimi (Data Availability Statement)

Bu çalışmanın bulgularını destekleyen veriler, makul talep üzerine ilgili yazardan temin edilebilir. Data and findings of this study are available from the author upon reasonable request.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

Kaynaklar (References)

- Akbaş, B., Shen, J., 2003. Depreme dayanıklı yapı tasarımı ve enerji kavramı, Türkiye İnşaat Mühendisleri Odası Teknik Dergi, 14(2), 2877-2901.
- Akkar, S., Sandıkkaya, M.A., Senyurt, M., Sisi, A.A., Ay, B.Ö., Traversa, P., Douglas, J., Cotton, F., Luzi, L., Hernandez, B., Godey, S., 2014. Reference database for seismic ground-motion in Europe (RESORCE). Bulletin of Earthquake Engineering, 12(1), 311-339.
- Ambraseys, N.N., Douglas, J., Rinaldis, D., Berge-Thierry, C., Suhadolc, P., Costa, G., Sigbjornsson, R., Smit, P., 2004. Dissemination of European strong-motion data. CD-ROM Collection, Engineering and Physical Sciences Research Council, 1-80.
- Ancheta, T.D., Darragh, R.B., Stewart, J.P., Seyhan, E., Silva, W.J., Chiou, B.S.J., Wooddell, K.E., Graves, R.B., Kottke, A.R., Boore, D.M., Kishida, T., Donahue, J.L., 2014. NGA-West2 database. Earthquake Spectra, 30(3), 989-1005.
- ATC-40., 1996. Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings, 1-2. Applied Technology Council, California.
- Alici, F.S., Sucuoğlu, H., 2016. Prediction of input energy spectrum: attenuation models and velocity spectrum scaling. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 45(13), 2137-2161.
- Alici, F.S., Sucuoğlu, H., 2018. Elastic and inelastic near-fault input energy spectra, Earthquake Spectra, 34(2), 611-637.
- Chopra, A.K., 1995. Dynamics of structures = Theory and applications to earthquake engineering. Prentice-Hall, New York.
- Clough, R.W., Johnston, S.B., 1966. Effect of stiffness degradation on earthquake ductility requirements. Japan Earthquake Engineering Symposium, 1, 227-232.
- Dedeoğlu, İ.E., Calayır, Y., 2021. Farklı tasarım spektrumlarına göre ölçeklenmiş deprem kayıtları etkisindeki TSD sistemlerin yapısal tepkilerinin ve giren enerjilerinin değerlendirilmesi, Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, 12(2), 411-430.
- Dilmac, H., Ulutas, H., Tekeli, H., & Demir, F. 2018. The investigation of seismic performance of existing RC buildings with and without infill walls. Computers and Concrete, 22(5), 439-447.
- Dindar, A.A., 2009. Enerji esaslı yöntemlerle betonarme kolonların analizi ve tasarımı, Doktora Tezi, Boğaziçi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye.
- Dindar, A.A., Yalçın, C., Yüksel, E., Özkaynak, H., Büyüköztürk, O., 2015. Development of earthquake energy demand spectra, Earthquake Spectra, 31(3), 1667-1689.
- Fajfar, P., Vidic, T., Fischinger, M., 1991. On the energy input into structures, Pacific Conference on Earthquake Engineering, 1, 81-92.
- FEMA-440., 2005. Improvement of nonlinear static seismic analysis procedures. Federal Emergency Management Agency, Washington DC.
- Hachem, M., 2004. BISPEC: Interactive Software for the Computation of Unidirectional and Bidirectional Nonlinear Earthquake Spectra, Structures, 1-12.
- Kayhan, A.H., Demir, A., 2016. Statistical evaluation of drift demands of RC frames using code-compatible real ground motion record sets. Structural Engineering and Mechanics, 60(6):953-977.
- Kayhan, A.H., Demir, A., Palanci, M., 2018. Statistical evaluation of maximum displacement demands of SDOF systems by code compatible nonlinear time history analysis. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 115:513-530.

- Kayhan, A.H., Demir, A., Palanci, M., 2022. Multi-functional solution model for spectrum compatible ground motion record selection using stochastic harmony search algorithm. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 20, 6407–6440.
- Kumbasaroglu, A., 2020. Effect of anchor bars on seismic behavior of infilled walled frames. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 24(10), 2980-2992.
- Merter, O., 2014. Çok katlı betonarme çerçeve sistemlerin deprem etkileri altında göçme güvenliğinin enerji esaslı yöntemle belirlenmesi, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye.
- Merter, O., Uçar, T., Düzgün, M., 2017. Determination of earthquake safety of RC frame structures using an energy-based approach, *Structural Engineering and Mechanics*, 19(6), 689-699.
- Merter, O., 2019. An investigation on the maximum earthquake input energy for elastic SDOF systems. *Earthquakes and Structures*, 16(4), 487-499.
- Palanci, M., Kayhan, A.H., Demir, A., 2018. A statistical assessment on global drift ratio demands of mid-rise RC buildings using code-compatible real ground motion records. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 16(11), 5453–5488.
- Palanci, M., Demir, A., Kayhan, A.H., 2021. The investigation of displacement demands of single degree of freedom models using real earthquake records compatible with TBEC-2018. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 27(3), 251-263.
- Priestley, M.J.N., Calvi, G.M., Kowalsky, M.J., 2007. *Displacement Based Seismic Design of Structures*. IUSS Press, Pavia, Italy.
- SEAOC Vision 2000 Committee., 1995. *Performance-based seismic engineering*, Report Prepared by Structural Engineers Association of California, Sacramento, California, (1995).
- TBDY., 2018. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara.
- Uçar, T., Merter, O., 2018. Effect of design spectral shape on inelastic response of RC frames subjected to spectrum matched ground motions, *Structural Engineering and Mechanics*, 69(3), 293-306.
- Uçar, T., 2020. Computing input energy response of MDOF systems to actual ground motions based on modal contributions. *Earthquakes and Structures*, 18(2), 263-273.



FARKLI PERFORMANS KRİTERLERİ ALTINDA PARALEL MAKİNE ÇİZELGELEME PROBLEMİ

Hilmiye Betül DİKMEN^{1*}, Fatih BALCI², Ecem ÇETİN², Yasemin İLGİN², Hakan KAYA², Yusuf Baran KARTAL², Feyzagül OSMANLI², Ayça Mine ÖZEN², Ece SÜRÜCÜ², Damla KIZILAY²

¹ Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye

² İzmir Demokrasi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Paralel Makine Çizelgeleme, Sıra Bağımlı Ayar Süreleri, Karma Tamsayılı Programlama Modeli, Komşuluk Arama Sezgiseli.

Öz

Üretim planlama faaliyetleri arasında oldukça önemli bir yere sahip olan paralel makine çizelgeleme problemi, işlerin hangi kaynaklar kullanılarak üretileceğinin ve hangi makineye hangi sırada atanacağını belirlemesidir. Üretim ortamında kaynakların aktif kullanımı ve müşteri memnuniyeti sağlama gibi amaçları gerçekleştirmek, işlerin çizelgelenmesinin iyi bir şekilde yapılıp yapılmaması ile ilgili olmasının yanı sıra amaç fonksiyonu seçimi ile de doğrudan ilişkilidir. Bu çalışmada ele alınan çizelgeleme probleminde, özdeş olmayan paralel makineler, makine ve işlerin hazırlık zamanları ve işler arasındaki sıra bağımlı ayar zamanları düşünülmüştür. Çalışmada, literatürde sıkça yer alan ve firmalar/araştırmacılar tarafından optimize edilmeye çalışılan amaç fonksiyonlarının birbirlerini nasıl etkilediği ve çeşitli kısıtlardan nasıl etkilendiği analiz edilerek literatüre katkı sağlanması hedeflenmiştir. Çalışmanın çözüm yöntemi olarak karma tamsayılı programlama modeli kurulmuş, elde edilen sonuçlar için basit bir ara yüz oluşturularak duyarlılık analizleri yapılmıştır. Ele alınan problemin NP-zor sınıfında bulunması sebebiyle büyük boyutlu veri setleri için sezgisel yöntemlere başvurulmuştur. Bu kapsamda altı farklı komşuluk arama sezgiseli kullanılarak sezgisel yöntemlerin sonuçları tüm amaç fonksiyonları için karşılaştırılmış olup, hangi komşuluk arama sezgiselinin hangi amaç fonksiyonu için daha iyi çalıştığı analiz edilmiştir. Geliştirilen algoritma ile elde edilen olurlu çözümler incelenerek amaç fonksiyonlarının duyarlılık analizleri gerçekleştirilmiştir.

PARALLEL MACHINE SCHEDULING PROBLEM UNDER DIFFERENT PERFORMANCE CRITERIA

Keywords

Parallel Machine Scheduling, Sequence Dependent Setup Times, Mixed Integer Programming Model, Neighborhood Search Heuristics.

Abstract

A parallel machine scheduling problem, which has a very important place among production planning activities, determines which resources will be produced on which machine in which order. Active use of resources and ensuring customer satisfaction in the production environment is directly related to selecting the objective function and whether the work is well-scheduled. In the scheduling problem discussed in this study, non-identical parallel machines, setup times of machines and jobs, and sequence-dependent adjustment times between jobs are considered. It is aimed to contribute to the literature by analyzing how these mostly used objective functions affect each other and how they are affected by various constraints. A mixed integer programming model was established as the solution method of the study, and sensitivity analyzes were performed by creating a simple interface for the results obtained. Since the handled problem is in the NP-hard class, heuristic methods have been applied for large-sized data sets. In this context, six different neighborhood search heuristics were compared for all objective functions, and it was then analyzed which neighborhood search heuristic worked better for which objective function. Sensitivity analyzes were carried out by examining the feasible solutions obtained with the developed algorithm.

* İlgili yazar / Corresponding author: betuldkmn47@gmail.com, +90-232-301-7621

Alıntı / Cite

Dikmen, H.B., Balcı, F., Çetin E., İlgin, Y., Kaya, H., Kartal, Y.B., Osmanlı, F., Özen, A.M., Sürücü, E., Kızılay, D., (2023). Farklı Performans Kriterleri Altında Paralel Makine Çizelgeleme Problemi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(3), 1030-1053.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

H.B. Dikmen, 0000-0002-5066-7335
 F. Balcı, 0000-0003-2572-9458
 E. Çetin, 0000-0003-1130-0351
 Y. İlgin, 0000-0001-8216-5703
 H. Kaya, 0000-0002-3305-5089
 Y.B. Kartal, 0000-0003-0133-0362
 F. Osmanlı, 0000-0003-2862-5398
 A.M. Özen, 0000-0002-0695-912X
 E. Sürücü, 0000-0002-6177-2982
 D. Kızılay, 0000-0002-6561-8819

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	30.01.2023
Revizyon Tarihi / Revision Date	13.06.2023
Kabul Tarihi / Accepted Date	27.08.2023
Yayın Tarihi / Published Date	28.09.2023

PARALLEL MACHINE SCHEDULING PROBLEM UNDER DIFFERENT PERFORMANCE CRITERIA

Hilmiye Betül DİKMEN^{1†}, Fatih BALCI², Ecem ÇETİN², Yasemin İLGİN², Hakan KAYA², Yusuf Baran KARTAL², Feyzagül OSMANLI², Ayça Mine ÖZEN², Ece SÜRÜCÜ², Damla KIZILAY²

¹ Dokuz Eylül University, Faculty of Engineering, Department of Industrial Engineering, Izmir, Türkiye

² Izmir Democracy University, Faculty of Engineering, Department of Industrial Engineering, Izmir, Türkiye

Highlights

- Parallel machine scheduling problem with sequence-dependent setup times is discussed.
- Five different objective functions were handled, and their effects on each other were examined.
- A mixed integer model was established, and small-size data sets were solved.
- The neighborhood search heuristic for large-size problems has been proposed.

Purpose and Scope

Within the scope of the study, it is aimed to contribute to the literature by analyzing how the objective functions, which are frequently included in the literature and tried to be optimized by companies/researchers, affect each other and how they are affected by various constraints. These analyses were conducted on parallel machine scheduling problems with constraints, including preparation times of the jobs and machines, sequence-dependent setup times, and number of jobs and machines. Thus, a rich parallel machine scheduling problem is considered to conduct sensitivity analysis.

Design/methodology/approach

A mixed integer programming model was established as the solution method of the study, and sensitivity analyzes were performed on the results obtained. Moreover, heuristic methods based on several neighborhood moves have been applied to large-size data sets. Six different neighborhood search heuristics were used. The results of the heuristics used were compared for all objective functions, and it was analyzed which neighborhood search heuristic worked better for which objective function. In addition, a hybrid algorithm in which all neighborhood search heuristics work together is also included in these comparisons.

Findings

The obtained results are discussed in detail in the numerical results section. For example, the objective functions related to minimizing total tardiness and the number of tardy jobs have positive effects on each other. However, they showed lower performance when the completion time-related objective functions were considered as primal objectives. In addition, it was observed that the changes in the number of jobs and machines affected the total tardiness (Ttop) value the most among other objective values.

Research limitations/implications

Different neighborhood search heuristics are used in the paper. However, the state-of-the-art heuristics in the literature are not used for parallel machine scheduling problems, so by using these methods, comparisons can be made with the existing results in the literature. Lower bounds can be generated for each objective function value so the solution performance of the mathematical model can be improved.

[†] Corresponding author: betuldkmn47@gmail.com, +90-232-301-7621

Practical implications

These analyses made in the study are handled in the planning process in companies and offer the manager an option to choose the objective function. These studies can be turned into a practically applicable program by designing a user-friendly interface and drawing up daily/weekly scheduling plans in line with the chosen objective function.

Social Implications

Although this research does not have a direct social impact, it can guide the industry to choose the proper objective function, improving the planning processes and reducing costs. The decrease in cost also causes an increase in demand, and thus the volume of production increases. The increase in production volume may also result in hiring more workers. Thus, this study will indirectly create a social impact.

Originality

Although the objective functions discussed in the study have been studied in the literature, no sensitivity analysis has been found to compare the performances of different objective functions as a result of the literature research. As far as the authors' knowledge, this study is the pioneering study in the literature showing how objective function performance changes as the number of jobs and machines change. Besides, this study also provides how the considered objective function affects the values of the other objective functions.

1. Giriş (Introduction)

Çizelgeleme, belirli zaman aralığında işlere, matematiksel veya sezgisel yöntemler kullanılarak sınırlı kaynakların atanmasını sağlayan bir karar verme sürecidir. Çoğunlukla imalat ve servis endüstrilerinde kullanılmaktadır (Akyol ve Saraç, 2017; Eren ve Güner, 2006). Bir imalat atölyesinde kaynakların etkin kullanımı iyi bir çizelgeleme yapılıp yapılmaması ile doğrudan ilişkilidir. Bu doğrultuda kısıtlı kaynaklar göz önünde bulundurularak, işletmelerin zamanında üretim, yüksek verimlilik gibi amaçlarını karşılamak hedeflenmektedir. Aynı operasyonu birden fazla makinenin gerçekleştirebildiği durumda paralel makine ortamları oluşmaktadır. Bu makineler bir işi aynı sürede gerçekleştirebilen aynı tipteki özdeş paralel makineler, bir işi farklı hızlarda gerçekleştirebilen aynı tipteki özdeş olmayan paralel makineler ve bir işi farklı hızlarda gerçekleştirebilen farklı tipteki ilişkisiz paralel makineler olarak üç sınıfa ayrılmaktadır (Pinedo, 2002). Aynı tipteki makinelerin hızlarının farklı olması durumunda hangi işin hangi makineye atanarak uygun bir şekilde sıralama elde edileceği sorusu özdeş olmayan paralel makine çizelgeleme problemlerinin temelini oluşturmaktadır. Yapılan literatür taraması ışığında ele alınan özdeş olmayan paralel makine probleminin kapsamını geniş tutacak kısıtlar modele eklenmeye çalışılmıştır. Bunun sonucunda, paralel makinelerin özdeş olmadığı yani işlerin işlem sürelerinin makineye bağlı olarak değiştiği, atanan işler arasında sıra bağımlı hazırlık süresinin; ilk iş için ayrı, makine için ayrı bir hazırlık süresinin bulunduğu bir çizelgeleme problemi ele alınarak küçük boyutlu veriler için karma tamsayılı matematiksel model, büyük boyutlu veri setleri için ise sezgisel model kurulmuş ve analizler bu modeller üzerinden yapılmıştır.

Projenin amacı, paralel makine çizelgeleme problemlerinde farklı performans kriterlerinin etkilerini duyarlılık analizi ile incelemek ve bu analiz sonucunda yapılacak karşılaştırmalar ile literatüre amaç fonksiyonu seçimlerinde fikir oluşturacak nitelikte kaynak sunmaktır. Diğer bir amaç, çalışma sonrasında sürdürülebilir bir üretim ortamına katkıda bulunmaktır. Çalışmada ele alınan her bir amaç fonksiyonu, paralel makine çizelgelemede karşılaşılabilecek senaryoları dikkate alarak belirlenmiştir. Etkin makine kullanımlarını ve ara stok maliyetlerini optimize etmek gibi amaçlar doğrultusunda son işin tamamlanma zamanını (C_{max}) ve işlerin toplam tamamlanma zamanını (C_{top}) minimize etmek; gecikmeleri azaltarak müşteri memnuniyetini sağlamak için maksimum gecikme (T_{max}), geciken iş sayısı (nt) ve işlerin toplam gecikmelerini (T_{top}) minimize etmek amaç fonksiyonu olarak seçilmiştir. Bu amaç fonksiyonları literatürde çalışılmış olmakla beraber, yapılan literatür araştırması sonucunda farklı amaç fonksiyonlarının performanslarını karşılaştırmak amacıyla yapılmış bir duyarlılık analizine rastlanmamıştır. Yapılacak olan bu çalışma ile elde edilen sonuçların literatüre ve firmaların amaç fonksiyonu seçimlerine katkı sağlaması hedeflenmektedir. Paralel makine çizelgeleme problemleri ile ilgili literatürde pek çok çalışma bulunmaktadır. Belirli anahtar kelimeler kullanılarak yapılan kaynak araştırması sürecinde bu çalışmalar incelenmiş ve özetlenmiştir.

Mokotoff ve Chretienne (2002), bir çizelgeleme probleminde özdeş paralel makinelerin maksimum tamamlanma zamanını minimize etmek için kesme algoritması kullanmıştır. Eren ve Güner (2006), iki ölçütlü özdeş paralel makine çizelgeleme problemini incelemiştir. Problemin amacı toplam tamamlanma zamanı ve maksimum gecikmenin ağırlıklı toplamını en küçükmektir. NP-zor yapıda olan bu problemi çözmek için bir tam sayılı programlama modeli geliştirilmiştir. Bu model ile 20 işe kadar olan problemler çözümlenip daha büyük boyutlu problemler için tabu arama ve rassal arama yöntemi geliştirilerek 1000 işe kadar olan problemler için çözüm bulunmuştur.

Çevikcan, Durmuşoğlu ve Baskak (2009), paralel makinelerde sıra bağımlı hazırlık sürelerine sahip işlerin çizelgelenmesini ele aldıkları makalelerinde, iş çizelgelenmesinde ürün tasarım özelliklerini dikkate alan bir sistem

sunmuşlardır. Geliştirilen sistemin yol haritasına bağlı olarak sıra bağımlı hazırlık süreleri toplamını en küçükmeye yönelik ürün tasarım özelliklerine bağlı bir sıralama algoritması geliştirilmiş ve literatürde yer alan çeşitli sıralama algoritmaları incelenmiştir.

Türker ve Çağrı (2011), paralel makine ve tek ekip üzerinde iş çizelgelemesi çalışıp karmaşık ve çözümü zor sıra bağımlı hazırlık süreleri ve tek işlemci kısıtını düşünmüşlerdir. Maksimum tamamlanma zamanını minimize etmek için makinelerdeki işlerin sıralanması ve tek işlemci üzerinde gerçekleştirilecek olan hazırlık işlemlerinin sınırlandırılması belirlemek amaçlanmıştır. Problem çözümü için genetik algoritma ve tabu arama yaklaşımları birlikte kullanılmıştır. Genetik algoritma ile problemin başlangıç çözümünü elde edildikten sonra daha iyi çözümler için tabu arama yöntemi kullanılmıştır. Elde edilen sonuçların performansı, rastgele arama yöntemi sonuçlarıyla kıyaslanarak önerilen yaklaşımın ele alınan problem için etkin olduğu gözlemlenmiştir.

Alcan ve Balişgil (2012), çalışmalarında özdeş olmayan paralel makine çizelgelemede akış zamanını minimize etmeyi hedeflemiştir. Eren (2012), yaptığı çalışmada makineye-bağımlı bozulma etkili paralel makine çizelgeleme problemini ele almış ve amaç fonksiyonunda da toplam yüklemeyi minimize etmeyi amaçlamıştır. Çözüm için polinom zamanlı algoritma önerilmiş ve geliştirilen model bir örnek üzerinde uygulanmıştır. Yang (2013), özdeş olmayan paralel makinelerde optimum makine bakım sıklığını dikkate alarak tamamlanma süresini minimize etmek üzerine çalışmıştır. Lee, Yu ve Lee (2013), işlerin toplam gecikmesini en küçükmek üzere, sıra bağımlı hazırlık sürelerinin bulunduğu ilişkisiz paralel makine çizelgeleme problemini tabu arama algoritması ile çözmüşlerdir. Lin ve Hsieh (2014), ilişkisiz paralel makinelerle, sıra ve makine bağımlı hazırlık süreleri ve işlerin hazır olma zamanının bulunduğu problemler üzerinde çalışmışlardır. Yeh vd (2014), bulanık işlem süresi parametrelerinin ve öğrenme etkisinin bulunduğu bir paralel makine çizelgeleme problemi üzerinde çalışmışlardır. Amaç fonksiyonu maksimum tamamlanma zamanını minimize etmek olan problem için genetik algoritma ve benzetim tavlama algoritması ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Vallada, Ruiz ve Framinan (2015), çalışmalarında özdeş ve özdeş olmayan paralel makine çizelgeleme problemleri için iş ve makine sırasına bağlı hazırlık sürelerini dikkate alarak genetik algoritma oluşturmuşlardır. Mensendiek, Gupta ve Herrmann (2015), toplam gecikmeyi en aza indirmek için özdeş paralel makine çizelgeleme problemini çalışmışlardır.

Afzalirad ve Rezaeian (2016), özdeş olmayan paralel makinelerde iş sırasına bağlı kurulum süreleri, kaynak kısıtları, sıra bağımlı olmayan hazırlık zamanları ve makine öncelik kısıtları ile toplam tamamlanma zamanını en küçükmeye çalışmıştır. Skutella, Sviridenko ve Uetz (2016), özdeş olmayan paralel makinelerde ağırlıklı toplam tamamlanma zamanını en küçükmek için doğrusal programlama yöntemi geliştirmişlerdir. Bektur ve Saraç (2016), iki paralel enjeksiyon makinesi bulunan üretimin hazırlık aşamasında, üretilecek ürüne ait kalıbın makinelere vinç ile taşınarak bağlanması üzerinde çalışmışlardır. Makineler tek bir vinci paylaştığından ortak kaynak kullanımı bulunmaktadır. Problemin amacı son işin tamamlanma zamanının en küçükleme olmasıdır. Ele alınan problem NP-zor yapıda olduğundan dolayı matematiksel modelin yanı sıra büyük boyutlu problemlerin çözümü için de genetik algoritma geliştirilmiştir.

Akyol ve Saraç (2017), ortak kaynak kullanan işlerin paralel makinelerde çizelgenmesini ele almıştır. Ele alınan problem için karma tam sayılı programlama modeli geliştirilmiştir. Çalışmada sıra bağımlı hazırlık süreleri, makine uygunluk kısıtları ve ortak kaynak kullanımı gibi kısıtlar vardır. Küçük boyutlu problemler için tamsayı programlama modeli ile sonuç bulunmuştur. Büyük boyutlu problemler için sezgisel algoritmalar önerilmiştir. Sarıçipek (2018), sıra bağımlı hazırlık süreli özdeş olmayan paralel makine çizelgeleme problemi için bir karar destek sistemi tasarlamıştır. Problemde, en büyük tamamlanma zamanının, en büyük gecikmenin, toplam erken bitirme ve geç bitirmelerin en küçükleme gibi birçok amaç fonksiyonu dikkate alınmıştır. Büyük boyutlu problemler için meta sezgisel yöntemler içeren bir karar destek modeli tasarlanmıştır. Kaya ve Karaçizmeli (2018), sıra bağımlı hazırlık süreli, ortak teslim tarihli özdeş paralel makine çizelgeleme problemini ortalama tamamlanma zamanı ve maksimum tamamlanma zamanını en küçükmek üzere ele almışlardır. Klasik öncelik kuralları ile elde edilen başlangıç çözümü yerel arama algoritması ile geliştirilmiştir.

Karabulut ve Saraç (2019), atölye tipi çizelgeleme probleminin özel bir hali olan esnek atölye tipi çizelgeleme problemini ele almıştır. Üç aşamalı bir çözüm önerisi geliştirilmiştir. Amaç toplam gecikmeyi en aza indirmektir. Kapasite kısıtları eklenerek problem genelleştirilmiş ve benzer çalışmalara kıyasla daha uygulanabilir çözümler üretilmiştir. Önerilen matematiksel modeller ile küçük boyutlu gerçek veri setleri kullanarak kapasite kısıtlı ve kapasite kısıtsız iki ayrı çözüm üretilmiş ve sonuçlar hem birbirleriyle hem de işletmenin mevcut çizelgesiyle karşılaştırılmıştır. Najat vd. (2019), makine arızalarını önlemek için periyodik önleyici bakımı göz önünde bulundurarak geciken iş sayısını en aza indirmek için özdeş paralel makine çizelgeleme problemini ele almıştır. Çözüm için matematiksel model ve sezgisel algoritma olmak üzere iki yöntem önerilmiştir.

Ertem, Özçelik ve Saraç (2021), literatürün genelinden farklı olarak sıra bağımlı hazırlık sürelerini stokastik olarak ele almanın katkılarını açıklamıştır. Sıra bağımlı hazırlık süreli stokastik ilişkisiz paralel makine çizelgeleme

problemi için iki aşamalı stokastik programlama yöntemi kullanılmış ve matematiksel model geliştirilmiştir. Kılıç (2021), bir firmanın boyahane bölümünde sıra bağımlı hazırlık süreli paralel makine çizelgeleme problemi üzerinde çalışmıştır. İşlerin toplam gecikme süresini en aza indirmeyi amaçlayan bir matematiksel model geliştirilmiştir. Ayrıca probleme farklı çizelgeleme kuralları uygulanarak karşılaştırmalar yapılmıştır. Croce, T'kindt ve Ploton (2021), özdeş paralel makine probleminde geciken iş sayısını minimize etmeyi amaçlamıştır. Çalışmada geciken iş sayısı minimizasyonu amacı ile ele alınan problemin polinom zamanda çözülemediği gösterilmiştir. Daha sonra üstel zaman algoritmalarını kullanarak çözümler elde edilmiştir. Berthier vd. (2022), makine ve sıra bağımlı hazırlık süreleri, makine uygunluğu ve farklı kaynak türü kısıtları altında ilişkisiz paralel makine çizelgeleme problemini ele almıştır. Tekstil endüstrisindeki bir vaka üzerinde çalışılmıştır. İki çözüm yöntemi sunulmuştur. Kesin çözümler elde edebilmek için yeni bir matematiksel model önerilmiştir. Aynı zamanda bu karmaşık problemi makul bir sürede çözebilmek için genetik algoritma geliştirilmiştir. Saraç ve Özçelik (2023), ilişkisiz paralel makine çizelgeleme problemini, amaç fonksiyonu son işin tamamlanma zamanı ve toplam gecikmenin en küçüklenmesi olacak şekilde çok amaçlı olarak ele almış ve bir meta-sezgisel algoritma geliştirmiştir. Bu algoritmanın yanı sıra genişletilmiş epsilon kısıt yöntemi ile problem çözümlerinde elde edilen pareto optimal çözümler yorumlanmıştır.

İncelenen çalışmaları özetlemek üzere ele alınan amaç fonksiyonu ve çözüm yöntemini belirten literatür özet tablosu Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1: Literatür özet tablosu (Literature summary table)

Yazarı ve Yılı	$\sum C_i$	$\sum T_i$	$\sum nt_i$	C_{max}	T_{max}	Çözüm Yöntemi
Mokotoff ve Chretienne (2002)				√		Kesme Algoritması
Eren ve Güner (2006)	√				√	Tam Sayılı Programlama, Tabu Arama
Türker ve Çağrı (2011)				√		Genetik Algoritma, Tabu Arama
Alcan ve Balişgil (2012)				√		Genetik Algoritma
Yang (2013)	√					Polinom Zamanlı Algoritma
Lee, Yu ve Lee (2013)		√				Tabu Arama
Lin ve Hsieh (2014)		√				Tavlama Benzetimi, Greedy Sezgiseli
Yeh vd (2014)				√		Genetik Algoritma, Tavlama Benzetimi
Vallada, Ruiz ve Framinan (2015)				√		Genetik Algoritma
Mensendiek, Gupta ve Herrmann (2015)		√				Matematiksel Model ve Dal-Sınır Algoritması, Tabu Arama, Hibrit Genetik Algoritma
Afzalirad ve Rezaeian (2016)	√					Matematiksel Model, Genetik Algoritma ve Yapay Bağışıklık Sistemi
Skutella, Sviridenko ve Uetz (2016)	√					Doğrusal Programlama
Bektur ve Saraç (2016)				√		Matematiksel Model, Genetik Algoritma
Akyol ve Saraç (2017)				√		Karma Tamsayılı Programlama, Sezgisel Yöntemler
Sarıççek (2018)		√	√	√	√	Tavlama Benzetimi, Tabu Arama
Kaya ve Karaçizmeli (2018)	√			√		Yerel Arama Algoritması
Karabulut ve Saraç (2019)		√				Matematiksel Model
Najat vd. (2019)			√			Matematiksel Model, Sezgisel Algoritma
Ertem, Özçelik ve Saraç (2021)				√		Matematiksel Model
Kılıç (2021)		√				Matematiksel Model, LEKIN
Croce, T'kindt ve Ploton (2021)			√			Kesin Üstel Zaman Algoritması
Berthier vd. (2022)				√		Matematiksel Model, Genetik Algoritma
Saraç ve Özçelik (2023)		√		√		Meta-sezgisel Yöntem, Epsilon Kısıt Yöntemi

Yapılan literatür taramaları sonucunda paralel makine çizelgeleme problemi üzerine birçok çalışma olduğu gözlemlenirken, özdeş olmayan paralel makine çizelgeleme problemlerinin özdeş makine çizelgeleme problemlerine kıyasla daha az sayıda olduğu görülmüştür. Bu nedenle çalışmada özdeş olmayan paralel makine çizelgeleme problemi üzerinde farklı amaç fonksiyonlarının birbirlerini nasıl etkilediği ve bu amaç fonksiyonlarının eklenen kısıtlardan nasıl etkilendiği incelenmiştir. Bu doğrultuda özdeş olmayan paralel

makinenin bulunduğu ortamda 5 farklı amaç fonksiyonu ele alınmış ve performansları değerlendirilmiştir. Bu amaç fonksiyonları literatürde sıkça çalışılmış olmakla beraber farklı amaç fonksiyonu değerlerinin birbirlerini nasıl etkileyeceği ile ilgili bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Makalenin devamında yer alan bölümler geliştirilen yöntemlerden, analizlerden ve sonuçlardan detaylı olarak bahsetmektedir. Bölüm 2'de uygulanan yöntemler açıklanmıştır. Problem kapsamında hem karma tamsayı programlama modeli çözülmüş, hem de sezgisel komşuluk arama yöntemleri uygulanmıştır. Bölüm 3'te sayısal sonuçlar ve analizler karşılaştırmalar yapılarak anlatılmıştır. Bölüm 4'te ise sonuçlar ve gelecek çalışmaları hakkında bilgiler verilmiştir.

2. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Bu çalışmada özdeş olmayan paralel makine çizelgeleme problemi ele alınarak literatürde çokça kullanılan beş farklı amaç fonksiyonunun duyarlılık analizi ile performansları değerlendirilmiştir. Bu amaç fonksiyonlarının birbirlerine olan etkilerinin sağlıklı bir şekilde analiz edilebilmesi için, her bir amaç fonksiyonu öncelikli amaç olarak çözümlenip, çözüm sonucunda elde edilen değer kısıta eklenerek diğer amaç fonksiyonlarının aldıkları değerler analiz edilmiştir. Bir problem, iki farklı amaç fonksiyonu için ayrı ayrı çözüldüğünde, bu amaç fonksiyonlarının problemin çözümü için nasıl bir etki yarattığını ya da birbirlerini nasıl etkilediklerini görmek mümkün değildir. Bu nedenle bir amaç fonksiyonu için problem çözüldükten sonra, bu amacı sağlayacak şekilde diğer amaç fonksiyonları için çözüm değerleri elde edildiğinde, hangi amaç fonksiyonlarının birbirine zıt, hangilerinin birbirleri ile uyumlu sonuçlar verdikleri anlaşılabilir. Bu sebeple, her bir amaç fonksiyonu öncelikli olacak şekilde, kalan amaç fonksiyonlarının tamamı için çözümler üretilmiş ve karşılaştırmalar yapılmıştır. Problem, yapılan literatür araştırması sonucu belirlenen varsayımlar kapsamında şekillenmiştir. Bu varsayımlar dikkate alınarak problemin analizine yönelik kurulan karma tam sayılı matematiksel modelin yanı sıra büyük boyutlu problemlere uygun sürelerde çözüm aramak adına sezgisel modellerden de faydalanılmıştır. Problemin varsayımları aşağıdaki gibi listelenmiştir.

- Özdeş olmayan paralel makineler mevcuttur.
- Her makinede atanan ilk iş için bir hazırlık süresi mevcuttur.
- Sıra bağımlı hazırlık süreleri mevcuttur.
- İşler işleme başladıktan sonra bölünmemektedir.
- İşler arasında bir öncüllük bulunmamaktadır.
- Bir makinede belirli bir zaman diliminde yalnızca bir iş yapılabilir.
- Çizelgeleme periyodu boyunca tüm makinelere iş atanabilir.
- Her makinenin kendi hazırlık zamanı mevcuttur.

Literatürde sıkça yer alan ve firmalar/araştırmacılar tarafından optimize edilmeye çalışılan amaç fonksiyonlarının tek tek çalıştırıldığında diğer amaç fonksiyonları değerleri üzerindeki performansı analiz edilmiştir. Matematiksel model, performansı incelenecek birincil amaç için çalıştırıldıktan sonra elde edilen optimal değer modele kısıt olarak eklenerek diğer amaç fonksiyonları için sıralı olarak çalıştırılmıştır. Sezgisel modelde ise birincil amaç fonksiyonu ile toplam halinde diğer amaç fonksiyonlarının normalize değeri için iyi sonuçlar aranmıştır. İlgili modeller ve formülasyonlar ilerleyen bölümlerde açıklanmıştır.

2.1. Matematiksel Model (Mathematical Model)

Çalışmaya konu olan farklı performans kriterleri altında paralel makine çizelgeleme problemi analizi için ilk olarak literatür taraması gerçekleştirilerek problemin varsayımları belirlenmiştir. Bektur ve Saraç (2016), amaç fonksiyonu son işin tamamlanma zamanı iken, iki paralel makinenin hazırlık aşamasında bir adet kaynak (vinç) kullandığı, işlerin sıra bağımlı hazırlık sürelerine sahip olduğu ve makine uygunluk kısıtının bulunduğu varsayımları dahilinde paralel makine çizelgeleme problemini ele almışlardır. Ertem, Özçelik ve Saraç (2021), stokastik sıra bağımlı hazırlık süreleri kullanarak özdeş olmayan paralel makine çizelgeleme problemleri üzerinde çalışmışlardır.

Problemin analizi için ilk aşamada küçük veri setleri kullanılarak karma tam sayılı doğrusal matematiksel model geliştirilmiştir. Daha sonra uygun sürelerde büyük veri setlerinin analizini gerçekleştirmek için sezgisel yöntemlere başvurulmuştur. Ertem vd. (2021), özdeş olmayan paralel makine problemlerinin çizelgenmesi için matematiksel model kurmuşlardır. Akyol ve Saraç (2017), yaptıkları çalışmada ortak kaynak kullanımını bulanan işlerin paralel makinelerde çizelgenmesi için karma tam sayılı model kurmuşlardır. Eren ve Güner (2006), toplam tamamlanma zamanı ve maksimum gecikmenin ağırlıklı toplamını minimize etmek üzere özdeş paralel makine problemi çözümü için matematiksel model kurmuşlardır. Bu çalışmalardan esinlenerek çizelgeleme probleminin varsayımları belirlenmiştir. Matematiksel model kurarken bu varsayımlar göz önünde

bulundurulmuş ve ilgili amaç fonksiyonu için gerekli kısıtlar yazılmıştır. Analizi yapılacak olan beş farklı amaç fonksiyonu bulunmaktadır ve matematiksel model aşağıdaki gibidir.

İndisler

i: iş ($i=1,2,3\dots N$)
j: iş ($j=1,2,3\dots N$)
k: sıra ($k=1,2,3\dots S$)
m: makine ($m=1,2,3\dots M$)

Parametreler

N: iş sayısı
M: makine sayısı
S: sıra sayısı
bigM: Büyük bir sayı
 p_{im} : i işinin m makinesindeki işlem süresi
 h_i : i işi eğer ilk sıraya atanmışsa hazırlık süresi
 d_i : i işinin termin zamanı
 b_m : m makinesinin hazırlık süresi
 stp_{ij} : i ve j işi arasındaki sıra bağımlı hazırlık süresi

Karar Değişkenleri

x_{ikm} : $\begin{cases} 1, \text{ eğer } i \text{ işi } k \text{ sırasına } m \text{ makinesinde ataniyorsa} \\ 0, \text{ diğer durumlarda} \end{cases}$
 nt_i : $\begin{cases} 1, i \text{ işinde gecikme varsa} \\ 0, \text{ diğer durumlarda} \end{cases}$
 C_i : i işinin tamamlanma zamanı
 T_i : i işinin gecikme miktarı
 C_{\max} : Maksimum tamamlanma zamanı
 T_{\max} : Maksimum gecikme miktarı

Amaç Fonksiyon

$$\begin{aligned} \text{Min } \sum_{i=1}^N C_i & \quad (1) \\ \text{Min } \sum_{i=1}^N T_i & \quad (2) \\ \text{Min } \sum_{i=1}^N nt_i & \quad (3) \\ \text{Min } C_{\max} & \quad (4) \\ \text{Min } T_{\max} & \quad (5) \end{aligned}$$

Kısıtlar

$$\begin{aligned} C_i + \text{bigM} * (1 - x_{i1m}) & \geq b_m + h_i + p_{im} & \forall i = 1..N, m = 1..M & \quad (6) \\ C_i - \text{bigM} * (1 - x_{i1m}) & \leq b_m + h_i + p_{im} & \forall i = 1..N, m = 1..M & \quad (7) \\ C_i + \text{bigM} * (2 - x_{ikm} - x_{jk-1m}) & \geq C_j + p_{im} + stp_{ij} & \forall i, j = 1..N, m = 1..M, k = 2..S & \quad (8) \\ C_i - \text{bigM} * (2 - x_{ikm} - x_{jk-1m}) & \leq C_j + p_{im} + stp_{ij} & \forall i, j = 1..N, m = 1..M, k = 2..S & \quad (9) \\ \sum_{i=1}^N x_{ikm} & \leq 1 & \forall m = 1..M, k = 2..S & \quad (10) \\ \sum_{k=1}^S \sum_{m=1}^M x_{ikm} & = 1 & \forall i = 1..N & \quad (11) \\ \sum_{i=1}^N x_{ikm} - \sum_{i=1}^N x_{i,k-1,m} & \leq 0 & \forall m = 1..M, k = 2..S & \quad (12) \\ T_i & \geq C_i - d_i & \forall i = 1..N & \quad (13) \\ C_{\max} & \geq C_i & \forall i = 1..N & \quad (14) \\ T_{\max} & \geq T_i & \forall i = 1..N & \quad (15) \\ \text{bigM} * nt_i & \geq T_i & \forall i = 1..N & \quad (16) \end{aligned}$$

İşaret Kısıtları

$$\begin{aligned} x_{ikm} & \in \{0,1\} & \forall i = 1..N, m = 1..M, k = 1..S & \quad (17) \\ nt_i & \in \{0,1\} & \forall i = 1..N & \quad (18) \\ C_i & \geq 0 & \forall i = 1..N & \quad (19) \\ T_i & \geq 0 & \forall i = 1..N & \quad (20) \end{aligned}$$

$$C_{\max} \geq 0 \quad (21)$$

$$T_{\max} \geq 0 \quad (22)$$

Amaç fonksiyonu (1) işlerin tamamlanma zamanının toplamını minimize ederken, amaç fonksiyonu (2) işlerin müşteriye gecikme miktarlarının toplamını minimize eder. Amaç fonksiyonu (3) geciken iş sayısını minimize etmeyi amaçlar. Amaç fonksiyonu (4) işlerin maksimum tamamlanma zamanını minimize ederken, amaç fonksiyonu (5) işler arasında maksimum gecikmenin minimize edilmesini sağlar. Matematiksel model beş farklı amaç fonksiyonu için çalıştırılacağından her bir amaç fonksiyonu için ilgili karar değişkenleri ve kısıtlar modele eklenmelidir. Tablo 2’de ilgili amaç fonksiyonları için gerekli karar değişkenleri (+) ile gösterilmiştir.

Tablo 2: Amaç fonksiyonları ve ilgili karar değişkenleri (Objective functions and related decision variables)

AMAÇ FONKSİYONU	KARAR DEĞİŞKENLERİ					
	x_{ikm}	nt_j	C_j	T_j	C_{\max}	T_{\max}
$\text{Min } \sum C_j$	+		+			
$\text{Min } \sum T_j$	+		+	+		
$\text{Min } \sum nt_j$	+	+	+	+		
$\text{Min } C_{\max}$	+		+		+	
$\text{Min } T_{\max}$	+		+			+

Tablo 3’te ilgili amaç fonksiyonu için modele eklenecek kısıtlar (+) ile işaretlenmiştir.

Tablo 3: Amaç fonksiyonları ve ilgili kısıtlar (Objective functions and related constraints)

AMAÇ FONKSİYONU	KISITLAR																
	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
$\text{Min } \sum C_j$	+	+	+	+	+	+	+					+		+			
$\text{Min } \sum T_j$	+	+	+	+	+	+	+	+				+		+	+		
$\text{Min } \sum nt_j$	+	+	+	+	+	+	+	+			+	+	+	+	+		
$\text{Min } C_{\max}$	+	+	+	+	+	+	+		+			+		+		+	
$\text{Min } T_{\max}$	+	+	+	+	+	+	+	+		+		+			+		+

6-12 numaralı kısıtlar tüm amaç fonksiyonları için evrenseldir. Kısıt 6 ve 7, herhangi bir makinede ilk sıraya atanacak olan işin tamamlanma zamanını, makine hazırlık süresi (b_m) ve ilk sıraya atanan işin hazırlık süresi (h_i) parametrelerini dikkate alarak hesaplar. Kısıt 8 ve 9, herhangi bir makinede ilk sıra hariç atanacak olan işin sıra bağımlı hazırlık süresini (stp_{ij}) dikkate alarak hesaplar. Kısıt 10, her iş yalnızca bir sıra ve bir makineye atanabilir, yani işler bölünemez varsayımını sağlarken, kısıt 11, bir makine aynı anda birden fazla iş işleyemez, yani bir sıraya yalnızca bir iş atanabilir varsayımını sağlar. Kısıt 12, ardışıklık kısıtıdır ve işlerin sıra atlamadan işlenmesini garanti eder.

Kısıt 13, i işinin tamamlanma zamanından termin süresinin çıkarılması ile gecikme miktarını hesaplar. Bu kısıt amaç fonksiyonları $\text{Min } \sum T_j$, $\text{Min } \sum nt_j$ veya $\text{Min } T_{\max}$ olduğunda modele eklenmektedir. Kısıt 14, maksimum tamamlanma zamanını hesaplar. Bu kısıt amaç fonksiyonu $\text{Min } C_{\max}$ olduğunda modele eklenmektedir. Kısıt 15, maksimum gecikme miktarını hesaplar. Bu kısıt amaç fonksiyonu $\text{Min } T_{\max}$ olduğunda modele eklenir. Kısıt 16, ikili değişken olan karar değişkeni nt_j ’nin toplamını yani geciken iş sayısını hesaplar. Bu kısıt ise amaç fonksiyonu $\text{Min } \sum nt_j$ olduğunda modele eklenir. Kısıt 17-22 karar değişkenlerinin işaret kısıtlarıdır.

Modelin doğru çalışması için $bigM$ parametresi yeteri kadar büyük olmalıdır. Bu sebeple her veri setinde aynı formülasyonla farklı $bigM$ değerleri hesaplanmıştır. $bigM$ hesaplanırken, ilk olarak işlerin maksimum işlem süreleri toplamının 2 katı alınmıştır. Daha sonra bu değere makine hazırlık süreleri, ilk sıraya atanan işler için maksimum hazırlık süresinin makine sayısı ile çarpımı ve maksimum sıra bağımlı hazırlık süresinin “iş sayısı - 1” ile çarpılması sonucu elde edilen değer eklenmiştir. Matematiksel işlem denklem (23)’teki gibidir.

$$bigM = \sum_{i=1}^N \left(\max_{m=1..M} (p_{im}) * 2 \right) + \sum_{m=1}^M b_m + \max_{i=1..N} (h_i) * 2 + \max_{i,j=1..N} (stp_{ij}) * (N-1) \quad (23)$$

Tablo 4’te her amaç fonksiyonunun iş ve makine sayısına bağlı olarak değişen karar değişkeni ve kısıt sayısı hesaplanmıştır. Bu hesapta n iş sayısını m makine sayısını ifade etmektedir.

Tablo 4: Karar değişkeni ve kısıt sayısı (Number of decision variables and constraints)

AMAÇ FONKSİYONU	KARAR DEĞİŞKENİ SAYISI	KISIT SAYISI
$\sum C_i$	$n+n^2m$	$mn(4+2(n-1)^2) + n - m$
$\sum T_i$	$2n+n^2m$	$mn(4+2(n-1)^2) + 2n - m$
$\sum nt_i$	$3n+n^2m$	$mn(4+2(n-1)^2) + 3n - m$
C_{max}	$n+n^2m+1$	$mn(4+2(n-1)^2) + 2n - m$
T_{max}	$2n+n^2*m+1$	$mn(4+2(n-1)^2) + 2n - m$

Matematiksel modelin çalıştırılabilmesi için gerekli veri setleri hazırlanmıştır. Paralel makine çizelgeleme problemi NP-zor yapıda olduğundan modelin büyük veri setlerinde çözüm ararken zorlanabileceği böylece çözüm süresinin uzayacağı ön görülmüştür ve problemin analizi için ilk olarak küçük veri setleri seçilmiştir. 6-8-10 iş bulunan veri setleri için işlerin makine bağımlı işlem süresi (p_{im}) ve sıra bağımlı hazırlık süreleri (stp_{ij}) Vallada, Ruiz ve Framinan (2015) tarafından üretilmiş olan veri setlerinden elde edilmiştir. Model için ihtiyaç duyulan diğer veriler ($d_i, b_m, h_i, bigM$) uygun formülasyonla Microsoft Excel üzerinde hesaplanmıştır. Hesaplama adımları Bölüm 3 Sayısal Bulgular kısmında belirtilmiştir.

Gerekli veri setleri Microsoft Excel üzerinde oluşturulduktan sonra model IBM ILOG CPLEX OPL 12.10 programında sıralı olarak çalıştırılmıştır. Öncelikle her bir amaç fonksiyonunun optimal değeri bulunarak kısıtlara eklenmiştir. Daha sonra model tek tek diğer amaç fonksiyonları için çalıştırılmıştır. Modelin çıktısı yine aynı MS Excel dosyasına yazdırılarak basit bir ara yüz oluşturulmuş ve el ile doğrulama sağlanmıştır. Bu sağlama ile modelin doğru sonuç verdiği görülmüştür. Ara yüz sayesinde otomatik olarak çizdirilen Gantt diyagramları ile işlerin hangi sıra ile hangi makinede işlendiği görsel olarak sunulup somut bir çıktı oluşturulmuştur.

Optimal değer olan birincil amaç fonksiyonunun diğer amaç fonksiyonları üzerindeki performans analizi gerçekleştirilmiştir. Bu karşılaştırmalarda 6, 8 ve 10 iş sayıları için 6 veri seti sonucunun ortalaması alınarak kendi içerisinde kıyaslanmıştır. Daha sonra artan iş sayıları göz önünde bulundurularak, veri setleri iş sayısına göre birbiri ile kıyaslanmıştır. Bu sayede amaç fonksiyonlarının performansının belirli bir iş sayısı altında değerlendirilmesinin yanı sıra iş sayısı artışı ile problemin göstereceği değişiklikler de analiz edilmiştir.

2.2. Sezgisel Model (Heuristic Model)

Çizelgeleme problemleri kombinatoriyal eniyileme problemleri olduğundan bu problemler genel olarak ya P ya da NP problemler olarak adlandırılır. P tipi problemler polinom zaman sınırlı bir algoritma ile etkin zamanda çözülebilmektedir. NP tipi problemler için polinom zaman sınırlı bir algoritmanın bulunması mümkün görülmemekte ve bu problemler en iyi olarak ancak üstel zamanda çözülebilmektedir (Eren ve Güner, 2002). Lenstra vd. (1977) yaptıkları çalışmada makine çizelgeleme problemlerinin karmaşıklığını inceleyerek C_{max} , T_{max} , $\sum T$ ve $\sum C$ amaç fonksiyonlarını paralel makine ortamında NP-tam olarak sınıflandırmışlardır. Croce vd. (2021) ise NP-zor sınıftaki paralel makine çizelgeleme probleminin $\sum Nt$ amaç fonksiyonu üzerinde polinom zamanda çözemediğini göstermişlerdir. Bu nedenle matematiksel model ile küçük veri setleri için optimal sonuçların elde edilmesine karşın veri seti boyutu arttıkça mevcut yaklaşım çözüm zamanı bakımından verimli bulunmamıştır. Sonuç olarak problemin gerçek hayata uygulanabilirliği için sezgisel yöntemlere başvurulmuştur. Çalışmada sezgisel çözüm yöntemi olarak Komşu Arama (KA) algoritması geliştirilmiştir. Bu sezgisel algoritma ile problemin analizi için olurlu çözümler elde etmek mümkün olmaktadır. Çalışmada altı farklı komşuluk arama sezgiseli kullanılmıştır. Kullanılan sezgisel yöntemlerin sonuçları tüm amaç fonksiyonları için karşılaştırılmış olup, hangi komşuluk arama sezgiselinin hangi amaç fonksiyonu için daha iyi çalıştığı analiz edilmiştir. Ayrıca tüm komşuluk arama sezgisellerinin bir arada çalıştığı hibrit bir algoritma da bu karşılaştırmalara dahil edilmiştir.

Amaç Fonksiyonları

Daha önce matematiksel model ile sıralı olarak çalıştırılan amaç fonksiyonlarının sezgisel çözümde de aynı davranışı sergilemesi için amaç fonksiyonlarının ağırlıklı toplamları alınmıştır. Farklı ifadelerin ağırlıklı toplamını almak için ise normalizasyon uygulanmıştır. Birincil amaç ile alabileceği maksimum değere bölünerek normalize edilen ikincil amacın toplamı en küçüklenmiştir. Böylece sezgisel model birincil amaca öncelik verirken bir yandan normalize edilen ikinci amaç için iyi değerler aramaktadır. Her bir amaç fonksiyonu için maksimum değerler (24-28) denklemlerinde belirtildiği şekilde hesaplanmıştır.

$$\text{Maksimum } C_{max} = \sum_{i=1}^N \left(\max_{m=1..M} p_{im} \right) \quad (24)$$

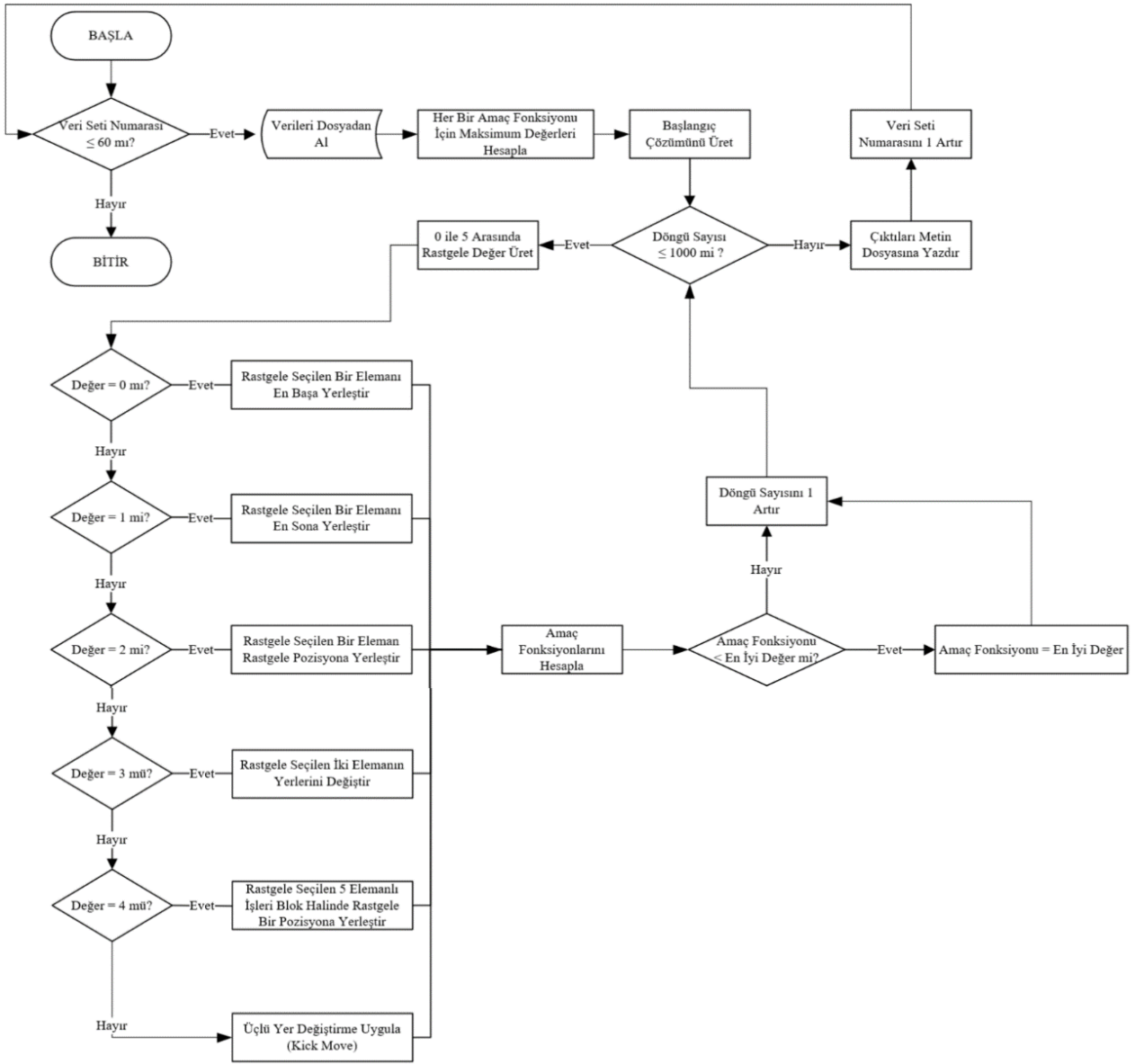
$$\text{Maksimum } C_{top} = N * (\text{maksimum } C_{max}) \quad (25)$$

$$\text{Maksimum } T_{max} = (\text{maksimum } C_{max}) - \min_{i=1..N} d_i \quad (26)$$

$$\text{Maksimum } T_{top} = (\text{maksimum } T_{max}) * N \quad (27)$$

$$\text{Maksimum } N_t = N \quad (28)$$

Kurulan sezgisel modelin akış diyagramı Şekil 1'deki gibidir.



Şekil 1: Komşuluk arama sezgiseli akış diyagramı (Neighborhood search heuristics flowchart)

Kullanılan komşuluk arama sezgiseli ve sözde kodları aşağıdaki gibidir;

1-Rastgele seçilen bir işi en başa yerleştirme.

SıraDegistir1 (*A, boyut) prosedür

Döngü başlangıç {
değer = DegerUret(boyut)

} (değer = 0 iken)

sayi1 = A [değer]

i = değer'den 0'a kadar (i--) {

A [i] = A [i - 1] }

A [0] = sayi1

Prosedür bitiş

2-Rastgele seçilen bir işi en sona yerleştirme.

SiraDegistir2 (*A, boyut) prosedür
 Döngü başlangıç {
 deger = DegerUret(boyut)
 } (deger =boyut - 1 iken)
 sayi1 = A[deger]
 i = deger'den i < boyut'a kadar {
 A[i] = A[i + 1] }
 A[boyut - 1] = sayi1
 Prosedür bitiş

3-Rastgele seçilen bir işi rastgele bir pozisyona yerleştirme.

SiraDegistir3 (*A, boyut) prosedür
 Döngü başlangıç {
 deger1 = DegerUret(boyut)
 deger2 = DegerUret(boyut)
 } (deger1 = deger2 iken)
 Eğer(deger1 < deger2) ise {
 sayi1 = A [deger1]
 i = deger1'den deger2'ye kadar {
 A [i] = A [i + 1] }
 A [deger2] = sayi1 }
 Aksi takdirde{
 sayi1 = A [deger1]
 i = deger1'den deger2'ye kadar(i--) {
 A [i] = A [i - 1] }
 A [deger2] = sayi1 }
 Prosedür bitiş

4-Rastgele seçilen iki işin yerlerini değiştirme.

SiraDegistir4 (*A, boyut) prosedür
 Döngü başlangıç {
 deger1 = DegerUret(boyut)
 deger2 = DegerUret(boyut)
 } (deger1 = deger2 iken)
 Değiştir (A [deger1], A [deger2])
 Prosedür bitiş

5-Rastgele seçilen ardışık 5 elemanlı bloğu rastgele bir pozisyona yerleştirme.

SiraDegistir5(* A, boyut, blok) prosedür
 a = new int[blok]
 b = new int[boyut - blok]
 Döngü başlangıç{
 deger2 = DegerUret(boyut - blok)
 deger1 = DegerUret(boyut - blok + 1)
 } (deger1 = deger2 iken)
 sayac = deger1
 i = 0'dan bloğa kadar {
 a[i] = A[sayac]
 sayac++ }
 i = 0'dan deger1'e kadar {
 b[i] = A[i] }
 i = deger1'den (boyut - blok)'a kadar {
 b[i] = A[i + blok] }
 say = 0
 i = 0'dan deger2'ye kadar {
 A[i] = b[i] }

```

i = deger2'den (deger2 + blok)'a kadar {
    A[i] = a[say]
    say++ }
i = deger2 + blok'tan boyuta kadar {
    A[i] = b[i - blok] }
Sil [ ] a, b

```

Prosedür bitiş

6- Rastgele seçilen üç işin yerlerini değiştirme (Kick Move).

```

SiraDegistir6(A, boyut) prosedür
    deger1 = DegerUret(boyut - 2)
    döngü başlangıç {
        deger2 = DegerUret(boyut - 1)
    } (deger1 >= deger2 iken)
    Döngü başlangıç{
        deger3 = DegerUret(boyut)
    } (deger2 >= deger3 iken)
    sayi1 = A[deger1]
    sayi2 = A[deger2]
    i = deger1'den deger2'e kadar {
        A[i] = A[i + 1]
        Eğer i = deger2 ise {
            A[i] = sayi1 } }
    i = deger2 - 1'den deger3'e kadar {
        A[i] = A[i + 1]
        Eğer i = deger3 ise {
            A[i] = sayi2 } }

```

Prosedür bitiş

Yazılan sözde kodlar literatürde bilinen ve sıkça çalışılan komşuluk arama yöntemleridir. Bu komşuluk arama yöntemlerinin tüm amaç fonksiyonları için tek tek uygulanmasının yanı sıra, tüm komşulukları içeren büyük komşuluk arama yöntemi de uygulanmıştır.

3. Sayısal Bulgular (Numerical Analysis)

Çalışmanın bu bölümünde Matematiksel ve Sezgisel modeller için literatürden elde edilen ve oluşturulan veri setleri açıklanmıştır. Daha sonra bu veri setleri kullanılarak IBM ILOG CPLEX OPL 12.10 programı kullanılarak matematiksel model çözülmüş ve sonuçları analiz edilmiştir. Sezgisel yöntemler ise C++ kodlama dili kullanarak yazılmış ve analizleri verilmiştir.

3.1. Parametre Üretimi (Parameter Generation)

Makine Hazırlık Süreleri (b_m)

Makinelerde üretime başlamadan önce işten bağımsız her makinenin hazırlık süresi bulunmaktadır. Bu süreler düzgün dağılıma göre [0,15] aralığında rassal olarak üretilmiştir.

İlk İş Hazırlık Süreleri (h_i)

Herhangi bir makineye atanan ilk iş için makineden bağımsız hazırlık süresi bulunmaktadır. Bu süreler düzgün dağılıma göre [0,15] aralığında rassal olarak üretilmiştir.

İşlerin İşlem Süreleri (p_{im}) ve Sıra Bağımlı Hazırlık Süreleri (stp_{ij})

Paralel makineler özdeş olmadığından işlerin işlem süreleri makineye bağlı olarak değişmektedir. İşlerin hazırlık süreleri ise sıraya bağımlı olarak değişmektedir. Bu süreler Vallada, Ruiz ve Framinan (2015) tarafından üretilmiş olan veri setlerinden elde edilmiştir. Küçük boyutlu veri setleri için stp_{ij} parametresi (1-10) arasında değer alırken, büyük boyutlu veriler için (1-50) arasında değer almaktadır.

İşlerin Termin Zamanı (d_i)

İşlerin tamamlanıp sevk edilebilmesi için teslim zamanları belirlenmektedir. İşlerin gecikip gecikmediği ve ne kadar geciktiği tamamlanma zamanı ile termin zamanının farkı ile hesaplanır. Her bir işin termin zamanı düzgün dağılıma göre alt sınır denklem (29) üst sınır denklem (30) olacak şekilde rassal olarak üretilmiştir.

$$\min_{m=1..M} p_{im} + \min_{m=1..M} b_m + h_i \quad \forall i = 1..N \quad (29)$$

$$\left(\max_{m=1..M} p_{im} + \max_{m=1..M} b_m + h_i + \max_{j=1..N} stp_{ij} \right) * N * (1/3) \quad \forall i = 1..N \quad (30)$$

Toplanan ve üretilen veriler MS Excel ara yüzünde bulunmaktadır. CPLEX OPL kodu çalıştırılırken veri dosyası tanımlanmıştır ve gerekli komutlar ile bu veriler MS Excel ara yüzünden çekilmiştir. Örnek komut Ek-1'de bulunmaktadır. Sezgisel modelde kullanılacak olan büyük boyutlu veri setleri ise üst bilgi dosyası olarak hazırlanıp modele tanımlanmıştır.

3.2 Matematiksel Model Sonuçları ve Performans Analizi (Results and Performance Analysis of the Mathematical Model)

Her bir amaç fonksiyonu için çalıştırılan modelin çıktısı MS Excel ara yüzüne gerekli komutlar kullanılarak doğrudan yazdırılmıştır. Örnek komut Ek-1'de bulunmaktadır. Karar değişkeni x_{ikm} için doğrudan MS Excel'e yazdırma mümkün olmadığından modele eklenen kod ile x_{ikm} 1 değerini aldığı anda metin dosyasına (.txt) yazdırılmıştır. Bahsedilen kod Ek-1'de bulunmaktadır. Daha sonra MS Excel ile metin dosyası arasında oluşturulan bağlantı ile veriler ara yüze çekilebilmiştir. Karar değişkeninin ara yüze eklenmesi ile beraber işlerin çizelgesi otomatik olarak oluşur ve Gantt diyagramı çizilir. Projenin hedefleri doğrultusunda söz konusu amaç fonksiyonunun altında farklı amaç fonksiyonlarının nasıl etkilendiğini analiz etmek için birincil amacın optimal değeri kısıt olarak modele eklenerek diğer amaç fonksiyonları için sıralı olarak çalıştırılmıştır. Her bir amaç fonksiyonu için oluşturulan 6 veri setinin çalıştırılması sonucu ortaya çıkan ara yüz örneği Ek-2'de görüldüğü gibidir. x_{ikm} karar değişkeninin aldığı değerler işlerin hangi makineye hangi sırada atandığını ortaya koyar. Ara yüze bu değerleri çekmek için oluşturulan metin dosyasının bağlantısı sonucu çizelgenin otomatik olarak oluşması için gerekli tablolar "düşey ara" formülü ile birbirine bağlanarak oluşturulmuştur. Bunun sebebi karar değişkeni değerleri matrisinden çizelgenin oluşabilmesi için gerekli bilginin direkt olarak elde edilememesidir.

Farklı iş sayıları için oluşturulan 6 farklı veri setinin matematiksel model çalıştırılarak elde edildiği değerlerin ortalaması alınmış ve sonuç tabloları oluşturulmuştur. Tablo 5, 6 iş içeren 6 farklı veri setinin ortalamasının sonuçlarını gösterirken, Tablo 6 ve Tablo 7 sırasıyla 8 ve 10 iş içeren 6 farklı veri setinin ortalamalarını göstermektedir. Tabloların başlık sütunu çalıştırılan amaç fonksiyonunu temsil ederken, başlık satırı bu amaç fonksiyonunun optimal değeri modele kısıt olarak eklendiğinde elde edilen değerleri göstermektedir. Her bir tablonun diyagonalı ilgili amaç fonksiyonunun ortalama optimal değerini vermektedir.

Tablo 5: 6 iş için 6 farklı veri setinin amaç fonksiyonu ortalama değerleri
(Average objective function values over 6 data sets for 6 jobs)

6 İŞ ORT					
	Cmax	Tmax	Ttop	Ctop	nt
Cmax	96	22,67	38,17	334,83	1,5
Tmax	105	5,67	12,5	324,17	1,17
Ttop	105,67	5,67	12,5	331,167	1,167
Ctop	104,67	20,17	24,67	313,5	1,33
nt	106,83	20,33	20,83	317,5	0,90

Tablo 6: 8 iş için 6 farklı veri setinin amaç fonksiyonu ortalama değerleri
(Average objective function values over 6 data sets for 8 jobs)

8 İŞ ORT					
	Cmax	Tmax	Ttop	Ctop	nt
Cmax	154	54	126,67	675	2,17
Tmax	164,17	15,83	54,17	664,67	2,5
Ttop	162,33	22,33	47	628,17	2
Ctop	167,83	39,83	72,5	603,33	1,83
nt	161,33	50	79,67	622,83	0,83

Tablo 7: 10 için 6 farklı veri setinin amaç fonksiyonu ortalama değerleri
(Average objective function values over 6 data sets for 10 jobs)

10 İŞ ORT					
	Cmax	Tmax	Ttop	Ctop	nt
Cmax	200,67	79,67	207,4	1047,83	3,5
Tmax	210,33	20,17	74,3	1113	3,5
Ttop	218,67	23,67	68,17	1044,3	2,67
Ctop	212,83	68,5	132	942,17	2,5
nt	208,33	58	101,83	986,33	1,17

Değerlerin analizi için görsel veri oluşturmak adına Tablo 5, 6 ve 7, Ek-3'te bulunan sütun grafiklerine dönüştürülmüştür. Ek-3'te bulunan şekil 11, 12 ve 13'te renkli sütunlar amaç fonksiyonunu temsil etmektedir. Sütunların x eksenindeki amaç fonksiyonu için aldığı y değeri incelenerek performans analizi gerçekleştirilmiştir.

6 iş için oluşturulan Tablo 5 incelendiğinde Tmax ve Ttop amaç fonksiyonları için şu yorumlar yapılabilir: Tmax, Ttop değeri için oldukça iyi performans göstermiş ve optimal değeri yakalayabilmiştir. Ayrıca Tmax, Ttop amaç fonksiyonuna göre Cmax ve Ctop değerleri için daha iyi performans göstermiştir. Nt değeri için ise Ttop ve Tmax amaç fonksiyonları aynı performansı göstermemiştir ama performansları oldukça yakındır. Amaç fonksiyonu seçimi için Ttop ve Tmax karşılaştırıldığında Tmax tercih edilebilir. Toplam gecikmeyi minimize etmeyi amaçlayan bir firma, Ttop yerine Tmax amaç fonksiyonunu seçerek Cmax ve Ctop değerlerinde daha iyi değer elde edecektir.

8 iş için oluşturulan Tablo 6 incelendiğinde Tmax ve Ttop amaç fonksiyonları için şu yorumlar yapılabilir: Amaç fonksiyonu olarak Tmax'i seçmek her zaman Ttop amaç fonksiyonundan iyi performans göstermeyebilir. Ancak eğer firmanın gecikmelerle ilgilenmenin yanı sıra fazla mesaiyi minimize etmek (Cmax) gibi bir amacı bulunuyorsa Ttop 'u seçmek Tmax'e göre daha iyi performans elde edilmesini sağlayacaktır.

6, 8 ve 10 iş için oluşturulan tablolar incelendiğinde nt, Cmax ve Ctop amaç fonksiyonları için şu yorumlar yapılabilir: Tmax ve Ttop değerleri için Ctop performansı Cmax performansına göre bariz iyidir. Ancak Tmax ve Ttop kadar iyi performans göstermemiştir. Amaç fonksiyonu seçimi için Ctop ve Cmax karşılaştırıldığında Ctop tercih edilebilir. Çünkü Tmax, Ttop, Ctop ve Nt değerleri için Cmax'e göre daha iyi performans göstermiştir. Amaç fonksiyonu Ctop seçilirse optimal Cmax değerine yakınlaşılabilir ancak amaç fonksiyonu Cmax seçilirse optimal Ctop değerinden daha uzak değerler elde edilecektir. Firma eğer Cmax değeri için kabul edilebilir bir artış göz önünde bulundurursa (kayıtsızlık birimi) Ctop amaç fonksiyonunu tercih ederek Tmax, Ttop, Ctop ve Nt değerlerinde Cmax'e göre daha iyi değerler elde edecektir.

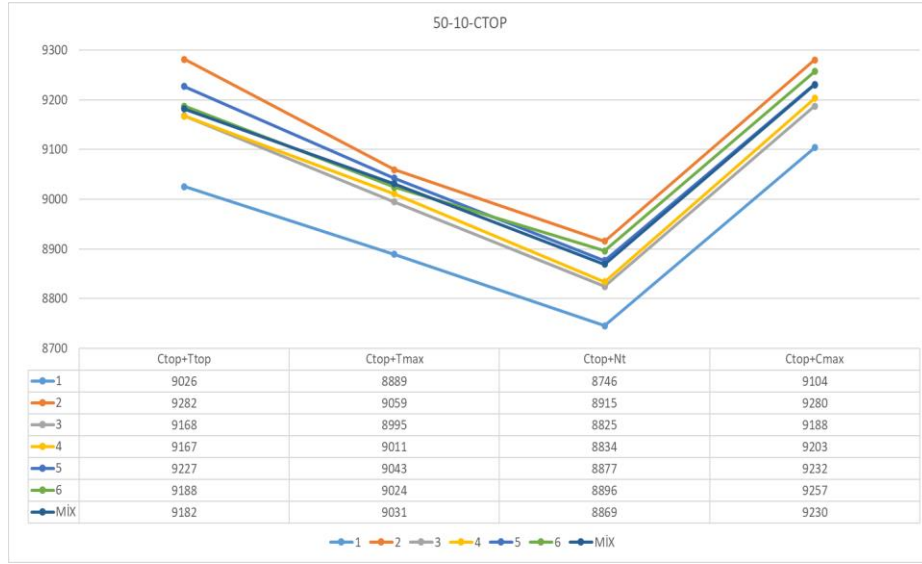
Amaç fonksiyonu olarak Nt tek başına çalıştırıldığında Tmax ve Ttop değerleri çok yüksek çıkmaktadır. Çünkü, amaç fonksiyonu geciken iş sayısını minimize etmeye çalışırken, işlerin ne kadar geciktiği ile ilgilenmemektedir. Ancak amaç fonksiyonları sıralı olarak çalıştırıldığından Tmax ve Ttop için iyi değer sunan alternatif optimaller saptanabilmiştir. 6, 8 ve 10 iş için oluşturulan tablolar incelendiğinde Nt'nin gösterdiği performans Cmax'e göre daha iyidir.

3.3. Sezgisel Model Sonuçları ve Performans Analizi (Results and Performance Analysis of the Heuristic Model)

Kurulan sezgisel modelin C++ dilinde kodu yazılarak 1000 iterasyon için çalıştırılması ile elde edilen sonuçlar bu bölümde tartışılmıştır. Sezgisel modelin doğrulanması için daha önce matematiksel modelde kullanılan küçük boyutlu veri setleri çalıştırılmıştır. 100 iterasyon sonrası elde edilen sonuçlar optimal değerlerle kıyaslandığında birçoğunda sezgisel model optimal sonucu yakalayabilmiştir. Sezgisel modeller için olurlu çözümlerin bulunması yeterli olduğundan optimalin bulunamadığı çözümlerin olması beklenen bir durumdur. Ancak optimal sonuçtan daha küçük değerler elde edilirse bu durum sezgisel modelde hata olduğu anlamına gelir. Bunu test etmek adına iterasyon sayısı büyütülerek değerler tekrar incelendiğinde optimalden daha küçük sonuçlara rastlanmamıştır. Böylelikle sezgisel modelin doğruluğu kanıtlanmıştır.

Büyük boyutlu verilerin analizi için kurulan sezgisel model doğrulandıktan sonra kullanılan algoritmaların performansları değerlendirilmiştir. Sezgisel model öncelikle altı farklı komşuluk arama için çalıştırıldıktan sonra tüm komşuluk arama sezgisellerinin bir arada çalıştığı büyük komşuluk arama sezgiseli de problem çözümü için uygulanmıştır. Sezgisel yöntemlerin sonuçları tüm amaç fonksiyonları için karşılaştırılmış olup, hangi komşuluk arama sezgiselinin hangi amaç fonksiyonu için daha iyi çalıştığı analiz edilmiştir. Bu bağlamda çeşitli tablo ve grafiklere başvurulmuş amaç fonksiyonlarının aldığı değerler incelenmiştir. Bu amaç fonksiyonları birincil amaç ile normalize edilerek minimize edilmeye çalışılan ikincil amaç fonksiyonlarının toplamını temsil etmektedir.

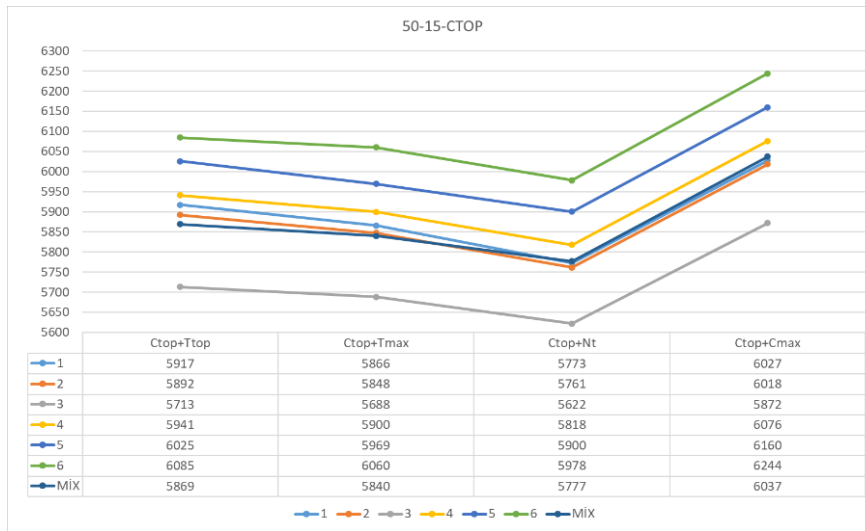
Örneğin birincil amaç fonksiyonu Ctop iken her iş ve makine sayısı için sezgisellerin bulunduğu çözümler incelenerek en iyi sonucu veren algoritma saptanmıştır. Aşağıdaki Şekil 2'de örnek olarak 50 iş 10 makine için Ctop birincil amaç fonksiyonunun aldığı değerler çizgi grafiği yardımı ile analiz edilmiştir.



Şekil 2: 50 iş 10 makine için Ctop amaç fonksiyonu değerleri
(Ctop objective function values for 50 jobs 10 machines)

Şekil 2 incelendiğinde bariz bir şekilde görülmektedir ki birinci komşuluk arama sezgiseli yani, rastgele seçilen bir işin en başa atanması, diğer sıralama algoritmalarına göre daha iyi sonuç vermiştir. Ancak bu durum her zaman geçerli olmamaktadır.

Şekil 3'ten de görüleceği üzere 50 iş 15 makine için yine aynı amaç fonksiyonu ele alındığında en iyi değeri sunan 3 numaralı, rastgele seçilen bir işi en sona atama, sezgiseli olduğu görülmektedir. Bu sebeple çalıştırılan her bir komşuluk sezgiseli için amaç fonksiyonlarının aldığı değerler incelenerek en iyi değeri sunan algoritmaların özeti Tablo 8'de belirtilmiştir.



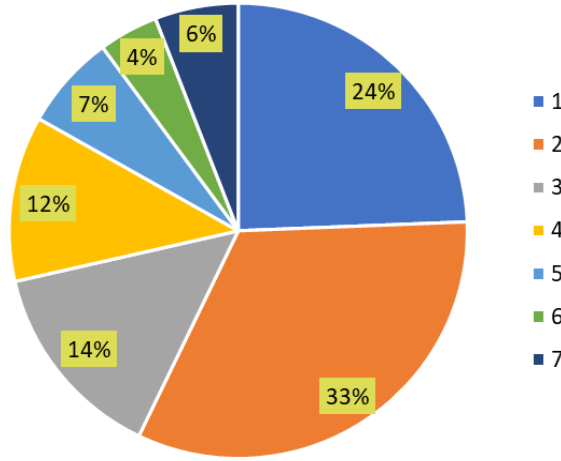
Şekil 3: 50 iş 15 makine için Ctop amaç fonksiyonu değerleri
(Ctop objective function values for 50 jobs 15 machines)

Tablo 8 incelendiğinde her bir sezgiselin en iyi değeri sunma yüzdeleri görülmektedir. Birincil amaç Ctop iken 1 numaralı algoritma %38, 2 numaralı algoritma %17, 3 numaralı algoritma %33, 4 numaralı algoritmanın %13 oranla en iyi sonucu veriyor olmasına karşın 5,6 ve 7 numaralı algoritmalar en iyi değeri sunamamıştır.

Tablo 8: Yedi farklı komşuluk arama sezgisellerinin en iyi değer bulma yüzdesi
(Percentage of finding the best results for seven different neighborhood search heuristics.)

	Ctop	Ttop	Tmax	Cmax	Nt
1	38%	8%	21%	33%	21%
2	17%	54%	46%	13%	33%
3	33%	0%	13%	21%	4%
4	13%	17%	4%	13%	13%
5	0%	17%	4%	0%	13%
6	0%	0%	4%	8%	8%
7	0%	4%	4%	13%	8%

Tablo 8’de yapılan analizlerin amaç fonksiyonu bazlı olmasına karşın tüm amaç fonksiyonları için sezgisellerin sunduğu değerlerin ortalaması alınarak yapılan analiz için Şekil 4’te belirtilen pasta grafiği çizilmiştir.



Şekil 4: Yedi algoritmanın en iyi değeri bulma yüzdesi.
(Percentage of finding the best result for seven algorithms.)

Şekil 4’te görüldüğü üzere tüm amaç fonksiyonları için en iyi değeri bulma oranı %33 ile 2. komşuluk sezgiseline aittir. Daha sonra bunu yakın bir yüzdeyle 1. Komşuluk sezgiseli takip etmektedir. En düşük orana sahip olan sezgiselin %4 ile 6 numaralı üçlü yer değiştirme (kick move) olduğu görülmektedir. Tüm algoritmaların kullanıldığı hibrit yapıdaki sezgiselin de %6 ile en iyi değeri bulmada düşük performans gösterdiği saptanmıştır.

Bu aşamada en iyi değeri bulma performansı en yüksek olan, yalnızca ilk üç komşuluk sezgiselinin bulunduğu ikinci bir hibrit algoritmanın analizinin gerçekleştirilmesine karar verilmiştir ve Tablo-9’da sonuçlar gösterilmiştir.

Tablo 9: Sekiz farklı komşuluk arama sezgisellerinin en iyi değer bulma yüzdesi
(Percentage of finding the best results for eight different neighborhood search heuristics)

	Ctop	Ttop	Tmax	Cmax	Nt
1	21%	4%	21%	25%	17%
2	17%	50%	38%	8%	29%
3	33%	0%	13%	17%	4%
4	13%	8%	4%	4%	8%
5	0%	8%	4%	0%	8%
6	0%	0%	4%	8%	8%
7	0%	4%	0%	8%	8%
8	17%	25%	17%	29%	17%

Tablo 9 incelendiğinde 1, 2 ve 3 numaralı sezgisellerin hibrit olarak ele alındığı 8 numaralı sezgiselin Cmax birincil amaç fonksiyonu için en iyi değer bulmada iyi çalıştığı görülmektedir. Son durumda tüm amaç fonksiyonları için en iyi değer bulma yüzdeleri Şekil 5'teki gibi çıkmıştır.

Çalışmanın temel amacı olan seçilen birincil amacın yanında diğer performans kriterlerinin aldığı değerlerin incelenmesi için yukarıda ele alınan herhangi bir algoritmanın seçilmesi gerekmektedir. Bu sebeple seçilen algoritmanın her amaç fonksiyonu için gösterdiği performansın birbirine yakın olması tercih edilmektedir. Her amaç fonksiyonu için eşit yüzdede (5 adet olduğundan %20) iyi değer bulunduğu varsayılmış ve algoritmaların sunduğu yüzdelerin %20'den sapsması hesaplanarak en yakın algoritma seçilmiştir. Bu algoritma önerilen 8 numaralı, rastgele seçilen işi başa yerleştirme, rastgele seçilen işi sona yerleştirme ve rastgele seçilen bir işi rastgele bir pozisyona yerleştirme olmak üzere 3 farklı komşuluk sezgiselini içeren hibrit algoritmadır. En iyi performansı sunan 2 numaralı algoritma seçilmemiştir çünkü tablo 8'den de görüldüğü üzere Ttop değerleri için %50 iyi performans gösterirken Cmax değerleri için %8 iyi performans göstermiştir.

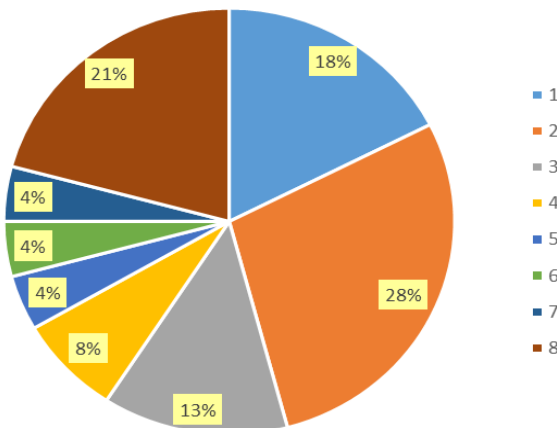
Uygun algoritmanın seçilmesinin ardından oluşturulan toplam 60 veri seti çalıştırılarak ortalama 0,38 dakikada olurlu çözümlere ulaşılrken, matematiksel model kullanılarak çalıştırılan toplam 18 veri seti için çözüme ulaşma süresi ortalama 73 dakika olarak kaydedilmiştir.

Daha sonra sezgisel algoritma ile elde edilen çözümler üzerinden amaç fonksiyonlarının birbirine olan etkisi incelenmiştir. Tablo 10'da örnek olarak 50 iş 10 makine ve 10 veri seti için her bir amaç fonksiyonunun ortalama değerleri verilmiştir. Tabloların başlık sütunu çalıştırılan amaç fonksiyonunu temsil ederken, başlık satırı bu amaç fonksiyonu söz konusu iken elde edilen değerleri göstermektedir. Her bir tablonun diyagonalı ilgili amaç fonksiyonunun olurlu çözümler arasındaki ortalama en iyi değerini vermektedir.

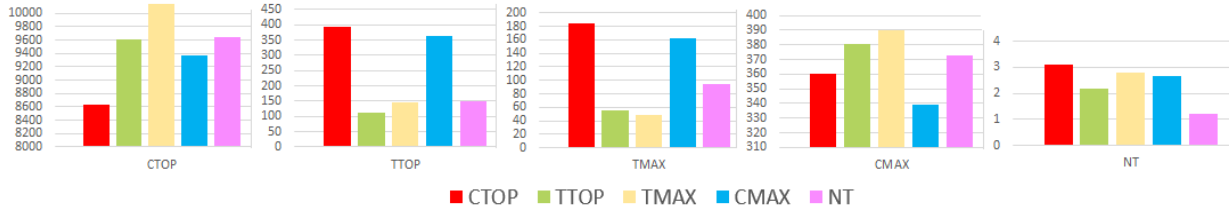
Tablo 10: 50 iş 10 makine için amaç fonksiyonu ortalama değerleri.
(Average objective function values for 50 jobs 10 machines)

50 iş 10 makine	Ctop	Ttop	Tmax	Cmax	Nt
Ctop	8626,0	393,5	184,5	360,0	3,1
Ttop	9607,6	113,7	55,3	380,3	2,2
Tmax	10138,4	147,1	48,1	389,8	2,8
Cmax	9368,4	363,6	161,8	339,5	2,7
Nt	9637,5	147,7	94,9	372,7	1,2

Analizleri kolaylaştırmak adına değerler sütun grafiğine çevrilmiştir. Örneğin 50 iş 10 makine için sütun grafiği Şekil 6'daki gibidir. Çalışmada ele alınan diğer tüm iş ve makine kombinasyonları için tablo ve sütun grafikleri oluşturularak yorumlanmıştır. İlgili tablolar Ek-4'te, sütun grafikleri Ek-5'te bulunmaktadır.



Şekil 5: Sekiz algoritmanın en iyi değeri bulma yüzdesi
(Percentage of finding the best result for eight algorithms)



Şekil 6: 50 iş 10 makine için ortalama değer sütun grafiği (Average value bar chart for 50 jobs 10 machines)

Oluşturulan tablolar ve sütun grafikleri incelendiğinde amaç fonksiyonlarının performansları için çeşitli yorumlar yapılmıştır. İşlerin tamamlanma zamanlarıyla ilişkili olan amaç fonksiyonları Cmax ve Ctop'un birbirleri için iyi performans göstermesine karşın bu iki amaç gecikmelerle ilişkili olan amaç fonksiyonları için Tmax, Ttop ve Nt'ye göre daha düşük performans göstermişlerdir. Ctop amaç fonksiyonu seçildiğinde Cmax için en iyi 2. değeri verirken, Cmax amaç olarak seçildiğinde Ctop için en iyi 2. değeri verdiği görülmüştür. Ttop amaç fonksiyonu olarak seçildiğinde ise Nt ve Tmax için en iyi ikinci değeri sunduğu saptanmıştır.

Yukarıda bahsedilen durumlar tüm iş ve makine kombinasyonları için sağlanmakla birlikte evrensel olduğu söylenebilir. 6, 8, 10 iş içeren küçük veri setleri ve 50 iş 10 makine, 50 iş 15 makine ve 100 iş 10 makine kombinasyonlarını içeren büyük veri setleri incelendiğinde toplam gecikme için en iyi performansı Ttop gösterirken bunun yanı sıra ikinci en iyi performansı Tmax amaç fonksiyonu göstermiştir. Artan iş sayısı ve kombinasyonlar sonucu, Tmax amaç fonksiyonunun yerine ikinci en iyi performans değerini Nt amaç fonksiyonunun aldığı gözlenmiştir.

Makine Sayısı Arttığı Durumda Amaç Fonksiyonu Performansı

Aynı iş sayısı söz konusu olduğunda makine sayısının artışı tüm amaç fonksiyonlarının değerlerinde daha küçük sonuçlar elde edilmesini sağlamıştır. Bunun sebebi işlerin atanabileceği daha fazla paralel makine olması sonucu daha önce işleme başlayabiliyor olmalarıdır. Aşağıdaki Tablo 11'de makine sayısının arttığı durumda amaç fonksiyonlarının performanslarında meydana gelen ortalama iyileşme yüzdeleri görülmektedir. Örneğin 50 iş Ctop değeri için tüm amaç fonksiyonlarının gösterdiği performanslar ortalama %34 oranla daha iyi çıkmıştır. Tüm iş sayıları için oranlar incelendiğinde, makine sayısının artırıldığı durumda gecikmelerle ilgilenen amaç fonksiyonları için elde edilen iyileşme oranlarının tamamlanma zamanlarıyla ilgilenen amaç fonksiyonlarına göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Amaç fonksiyonlarının performanslarındaki en büyük iyileşmenin ise Ttop değeri için elde edildiği kaydedilmiştir.

Tablo 11: Makine sayısı arttığı durumda performanslardaki iyileşme yüzdeleri
(Percentages of improvement in performances as the number of machines increases)

İŞ SAYISI	Ctop	Ttop	Tmax	Cmax	Nt
50	34%	78%	70%	31%	53%
100	31%	74%	57%	31%	53%
200	32%	71%	43%	32%	58%

İş Sayısı Arttığı Durumda Amaç Fonksiyonu Performansı

Aşağıdaki Tablo 12'de iş sayıları artırıldığında amaç fonksiyonlarının değerlerindeki artış yüzdesel olarak belirtilmiştir. Beklenildiği üzere iş sayısı iki katına çıkarıldığında tüm değerlerde bir artış olduğu görülmektedir. Her kombinasyon için en fazla değer artışının Ttop değerinde meydana geldiği saptanmıştır. En az artış ise Cmax değeri için kaydedilmiştir.

Makine sayısı artırıldığında en büyük performans iyileşmesi Ttop değerinde iken makine sayısı sabit tutulup iş sayısı artırıldığında en büyük performans değerindeki artışın yine Ttop değerinde elde edildiği görülmektedir. Özetle iş ve makine sayılarındaki değişimlerin en çok Ttop değerini etkilediği söylenebilir.

Tablo 12: İş sayısı arttığı durumda amaç fonksiyonu değerlerindeki artış oranı
(Increase rate in objective function values as the number of jobs increases)

MAKİNE SAYISI	İŞ SAYISI	Ctop	Ttop	Tmax	Cmax	Nt
10	50 P 100	277%	392%	263%	97%	135%
	100 P 200	302%	681%	183%	100%	253%
15	50 P 100	295%	555%	439%	97%	154%
	100 P 200	294%	871%	322%	96%	238%

4. Sonuç (Conclusion)

Bu çalışmada ele alınan özdeş olmayan paralel makine çizelgeleme problemi üzerinde literatürde çokça kullanılan 5 farklı amaç fonksiyonu için performans analizleri gerçekleştirilmiştir. Problemin Np-zor sınıfında bulunması sebebiyle küçük boyutlu veri setleri için matematiksel model kurularak optimal sonuçlar elde edilmesine karşın, iş ve makine sayısı arttığında mevcut yöntem çözüm süresi bakımından verimli bulunmamıştır. Bu sebeple çalışmanın ikinci bölümünde komşuluk arama algoritmalarına başvurularak sezgisel bir model kurulmuş ve uygun sürelerde olurlu çözümler elde edilmiştir. Matematiksel modelde, birincil amaç fonksiyonu için optimal değer elde edildikten sonra, bu değer kısıt olarak eklenerek sırasıyla diğer amaç fonksiyonları çalıştırılmıştır. Tüm amaç fonksiyonlarının birincil amaç olduğu durumda diğer amaç fonksiyonu değerlerinin nasıl değiştiği gözlemlenmiştir. Böylece amaç fonksiyonlarının değerleri ve performansları arasında tutarlı karşılaştırmalar yapılmıştır. Sezgisel algoritmada ise aynı tutarlı karşılaştırmaların sağlanması için bir amaç fonksiyonuna daha fazla ağırlık verilerek iki amaç fonksiyonu değerinin ağırlıklı toplamı alınmıştır. Bu aşamada ağırlıklandırmanın tutarlı yapılabilmesi için, ikincil amaç fonksiyonu değeri normalize edilmiştir. Bu sayede karşılaştırmalar tutarlı şekilde yapılabilmiş, performanslar doğru şekilde analiz edilebilmiştir. Sezgisel algoritma olarak 6 farklı komşuluk arama algoritmasının ayrı ayrı kullanılmasının yanı sıra, birlikte kullanıldığı büyük komşuluk arama algoritması da olmak üzere 7 farklı yöntem altında sonuçlar analiz edilmiştir. Hangi amaç fonksiyonu için hangi komşuluk arama algoritmasının daha iyi performans sergilediği tartışılmıştır.

Yapılan bu analizler, şirketlerde planlama sürecinde ele alınarak, amaç fonksiyonunu seçmek için yöneticiye seçenek sunmaktadır. Bu çalışmalar kullanıcı dostu bir arayüz tasarlanarak ve seçilen amaç fonksiyonu doğrultusunda günlük/haftalık çizelgeleme planları çıkarılarak, pratikte uygulanabilir bir program haline dönüştürülebilir. Bu açıdan da gelecekteki araştırmacılara ve sektör çalışanlarına hem farklı uygulama teknikleri hem de karar destek sistemine dönüşebilirliği açısından yol göstermektedir. Bu çalışmada bu karar destek sisteminin ilk adımları atılmıştır. Ayrıca, gelecekteki çalışmalarda sezgisel modelde kullanılan çok amaçlı optimizasyon yaklaşımı için normalizasyon dışında farklı yöntemlere başvurulabilir. Çok amaçlı optimizasyon problemlerinde bütün amaçları en iyileyen tek bir çözüm bulunamadığından çoğu zaman amaçların çatışmasından dolayı karar vericilerin çözümler üzerinde verdikleri tercihler önem arz etmektedir. Bu durumda tüm çözüm uzayını temsil edebilecek uygun çözümlerin bulunmasında Pareto Optimal kullanılarak başarılı sonuçlar elde edilebildiği Kaya ve Fırlalı'nın (2016) çalışmasında görülmüştür. İleriki çalışmalarda amaç fonksiyonlarının performans analizinde bu yöntemin uygulandığı sonuçlar incelenebilir.

Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışma TÜBİTAK 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı kapsamında desteklenmeye hak kazanmıştır.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

Kaynaklar (References)

- Afzalirad, M. ve Rezaeian, J., 2016. Resource-Constrained Unrelated Parallel Machine Scheduling Problem with Sequence Dependent Setup Times, Precedence Constraints And Machine Eligibility Restrictions. *Computers and Industrial Engineering*, 98, 40–52. doi:10.1016/j.cie.2016.05.020
- Akyol, E. ve Saraç, T., 2017. Paralel Makina Çizelgeleme Problemi için bir Karma Tamsayı Programlama Modeli: Ortak Kaynak Kullanımı, A Mix Integer Programming Model for Parallel Machine Scheduling Problem: Using Shared Resource. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 5(3), 109–126.
- Alcan, P. ve Balışgil, H., 2012. A Genetic Algorithm Application Using Fuzzy Processing Times İn Non-İdential Parallel Machine Scheduling Problem. *Advances in Engineering Software*, 45(1), 272–280. doi:10.1016/j.advengsoft.2011.10.004
- Bektur, G. ve Saraç, T., 2016. İki Paralel Enjeksiyon Makinasının Kreyin Kisiti Altında Çizelgelenmesi. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 31(4), 903–911. doi:10.17341/gazimmfd.278445
- Berthier, A., Yalaoui a, A., Chehade a, H., Yalaoui a, F., Amodeo a, L. & Bouillot, C.. (2022). Unrelated parallel machines scheduling with dependent setup times in textile industry. *Computers & Industrial Engineering*, 174. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108736>
- Croce, D., T'kindt, V. & Ploton, O., 2021. Parallel machine scheduling with minimum number of tardy jobs: Approximation and exponential algorithms. *Mathematics and Computation*, 397. <https://doi.org/10.1016/j.amc.2020.125888>
- Çevikcan, E., Durmuşoğlu, M. B. ve Baskak, M., 2009. Paralel Makinalarda Ürün Tasarımı Özellikleri İle İş Çizelgelemenin Bütünleştirilmesi. *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 4(22), 13–34.
- Eren T,Güner E., 2002. Tek ve paralel makinalı problemlerde çok ölçütlü çizelgeleme problemleri için bir literatür taraması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 17(4), 37 - 69.

- Eren, T., 2012. Makine-Bağımlı Bozulma Etkili Paralel Makineli Çizelgelemede Toplam Yükleme Minimizing Etme. *International Journal of Engineering Research and Development*, 4(1), 22-24.
- Eren, T. ve Güner, E., 2006. Paralel Makineli Çizelgelemede Toplam Tamamlanma Zamanı ve Maksimum Gecikmenin Enküçüklenmesi. *J. Fac.Eng.Arch. Selcuk Univ*, 21, 1-2.
- Ertem, M., Özçelik, F. ve Saraç, T., 2021. Stokastik İlişkisiz Paralel Makine Çizelgeleme Problemi için bir Matematiksel Model. *European Journal of Science and Technology*, (29), 278-283. doi:10.31590/ejosat.1017475
- Karabulut, M. A. ve Saraç, T., 2019. Kapasite Kısıtlı Esnek Atölye Tipi Çizelgeleme Problemi İçin Üç Aşamalı Bir Çözüm Yaklaşımı Ve Bir İşletmede Uygulanması. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 27(3), 233-241. doi:10.31796/ogummf.613268
- Kaya, S. ve Fırlı, N., 2016. Çok Amaçlı Optimizasyon Problemlerinde Pareto Optimal Kullanımı. *Social Sciences Research Journal*, 5(2), 9-18, ISSN: 214775237
- Kaya, S., & Karaçizmeli, İ.H., 2018. Hazırlık Zamanlı Ortak Teslim Tarihli Özdeş Paralel Makine Çizelgeleme Problemlerinin Çok Amaçlı Çözümü, *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 3(3): 205-213.
- Kılıç, M. (2021). Bir tekstil firmasının boyahane bölümünde paralel makine çizelgeleme problemi için bir matematiksel model önerisi ve farklı çizelgeleme kurallarının karşılaştırılması. *Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya*
- Lee, J.H., Yu, J.M. & Lee, D.H., 2013. A tabu search algorithm for unrelated parallel machine scheduling with sequence- and machine-dependent setups: minimizing total tardiness. *Int J Adv Manuf Technol* 69, 2081-2089. <https://doi.org/10.1007/s00170-013-5192-6>
- Lenstra, J.K., Kan, A.H.G. Rinnooy. & Brucker, P., 1977. Complexity of Machine Scheduling Problems. *Annals of Discrete Mathematics*, 1, 343-362. [https://doi.org/10.1016/S0167-5060\(08\)70743-X](https://doi.org/10.1016/S0167-5060(08)70743-X)
- Lin, Y. K. ve Hsieh, F. Y., 2014. Unrelated Parallel Machine Scheduling With Setup Times And Ready Times. *International Journal of Production Research*, 52(4), 1200-1214. doi:10.1080/00207543.2013.848305
- Mensendiek, A., Gupta, Jatinder N.D. & Herrmann, J., 2015. Scheduling identical parallel machines with fixed delivery dates to minimize total tardiness. *European Journal of Operational Research*, 243(2), 514-522. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2014.12.002>
- Mokotoff, E. ve Chretienne, P., 2002. A Cutting Plane Algorithm For The Unrelated Parallel Machine Scheduling Problem. *European Journal of Operational Research*, 141(3), 515-525. doi:10.1016/S0377-2217(01)00270-3
- Najat, A., Yuan, C., Gursel, S. & Tao, Y., 2019. Minimizing the Number of Tardy Jobs on Identical Parallel Machines Subject to Periodic Maintenance. *Procedia Manufacturing*, 38, 1409-1416. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.147>
- Pinedo, M. L., 2002. *Scheduling: Theory, Algorithms, and Systems*. New Jersey, USA, Prentice Hall. doi: 10.1007/978-0-387-78935-4
- Saraç, T., & Özçelik, F., 2023. A matheuristic algorithm for multi-objective unrelated parallel machine scheduling problem Çok amaçlı ilişkisiz paralel makine çizelgeleme problemi için bir matsezgisel algoritma. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, vol.38, no.3, 1953-1966.
- Sarıççek, İ., 2018. Özdeş olmayan paralel makina çizelgeleme problemlerinin çözümü için bir karar destek sistemi. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 24(1), 108-116. doi:10.5505/pajes.2017.48658
- Skutella, M., Sviridenko, M. ve Uetz, M., 2016. Unrelated Machine Scheduling With Stochastic Processing Times. *Mathematics of Operations Research*, 41(3), 851-864. doi:10.1287/moor.2015.0757
- Türker, A. K. ve Çağrı, S., 2011. Sıra Bağımlı Hazırlık Operasyonları İçin Tek Ekipli Paralel Makinalarda Çizelgeleme Problemine Karma Yaklaşım. *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 26(4), 731-740.
- Vallada, E., Ruiz, R. ve Framinan, J. M., 2015. New Hard Benchmark For Flowshop Scheduling Problems Minimising Makespan. *European Journal of Operational Research*, 240(3), 666-677. doi:10.1016/j.ejor.2014.07.033
- Yang, S. J., 2013. Unrelated Parallel-Machine Scheduling With Deterioration Effects And Deteriorating Multi-Maintenance Activities For Minimizing The Total Completion Time. *Applied Mathematical Modelling*, 37(5), 2995-3005. doi:10.1016/j.apm.2012.07.029
- Yeh, W., Lai, P., Lee, W. & Chuang, M., 2014. Parallel-machine scheduling to minimize makespan with fuzzy processing times and learning effects. *Information Sciences*, 269, 142-158. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2013.10.023>

Ekler (Appendices)

Ek-1: IBM ILOG CPLEX OPL 12.10 ve MS Excel arasında veri alışverişini sağlamak için yazılan kodlar.

```
6 SheetConnection Data("C:\\Users\\dikmen\\Desktop\\TEZ\\ciktilar\\6\\Nt6.xlsx");
7
8 N from SheetRead(Data1, "VeriSeti1!A3");
9 M from SheetRead(Data1, "VeriSeti1!B3");
10 S from SheetRead(Data1, "VeriSeti1!C3");
11 bigM from SheetRead(Data1, "VeriSeti1!D3");
12 p from SheetRead(Data1, "VeriSeti1!G6:H11");
13 stp from SheetRead(Data1, "VeriSeti1!B25:G30");
14 h from SheetRead(Data1, "VeriSeti1!A17:F17");
15 d from SheetRead(Data1, "VeriSeti1!A21:F21");
16 b from SheetRead(Data1, "VeriSeti1!B8:C8");
```

Şekil 7:MS Excel'den veri okutma (Reading data from MS Excel)

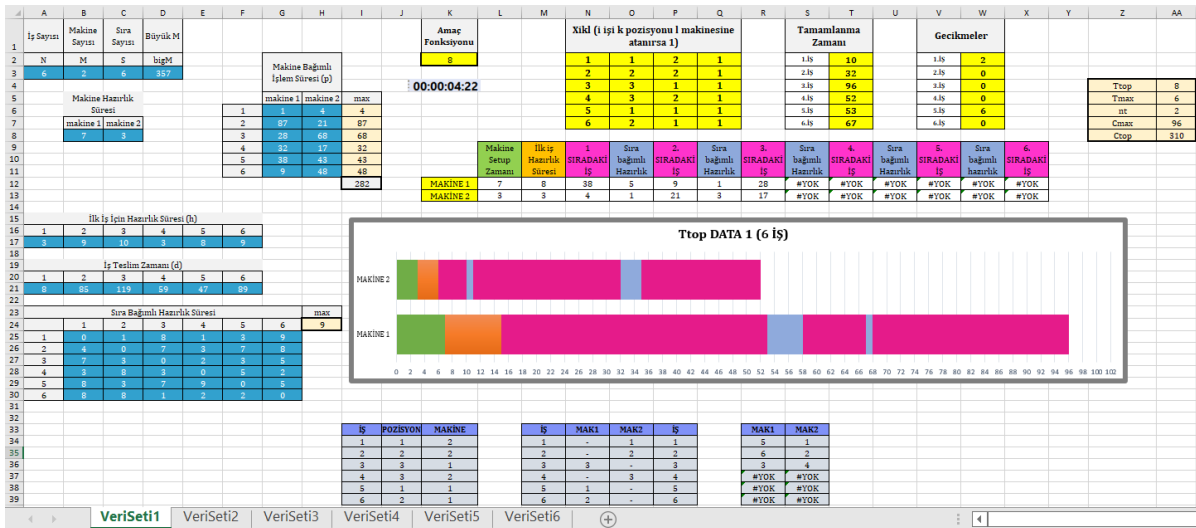
```
18 C to SheetWrite (Data1, "VeriSeti1!T2:T7");
19 Z to SheetWrite (Data1, "VeriSeti1!K2");
20 T to SheetWrite (Data1, "VeriSeti1!W2:W7");
```

Şekil 8: MS Excel'e veri yazdırma (Printing data to MS Excel)

```
55 execute {
56   var ofile=new IloOplOutputFile("Results.txt");
57   for ( var i in is){
58     for ( var j in pos){
59       for ( var k in mak){
60
61         if (x[i][j][k]>0){
62
63           ofile.writeln(i, " ; ", j, " ; ", k, " ; ", x[i][j][k]);
64 }
65 }
66 }
67 }
68   ofile.close
69 }
```

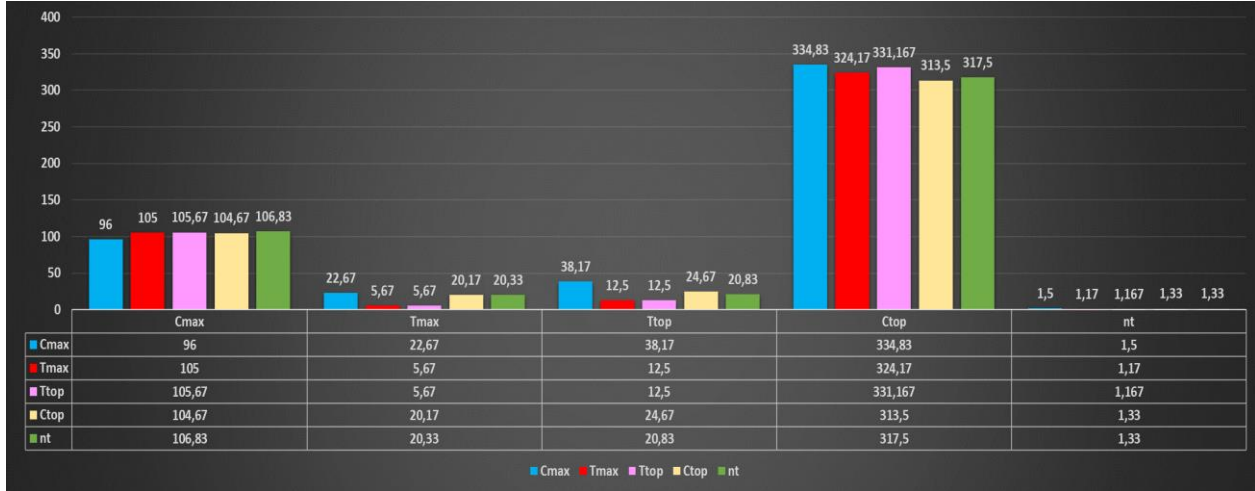
Şekil 9: Xikm karar değişkeni değerlerini metin dosyasına aktarma (Exporting xikm decision variable values to text file)

Ek-2: MS Excel üzerinde oluşturulan ara yüz.

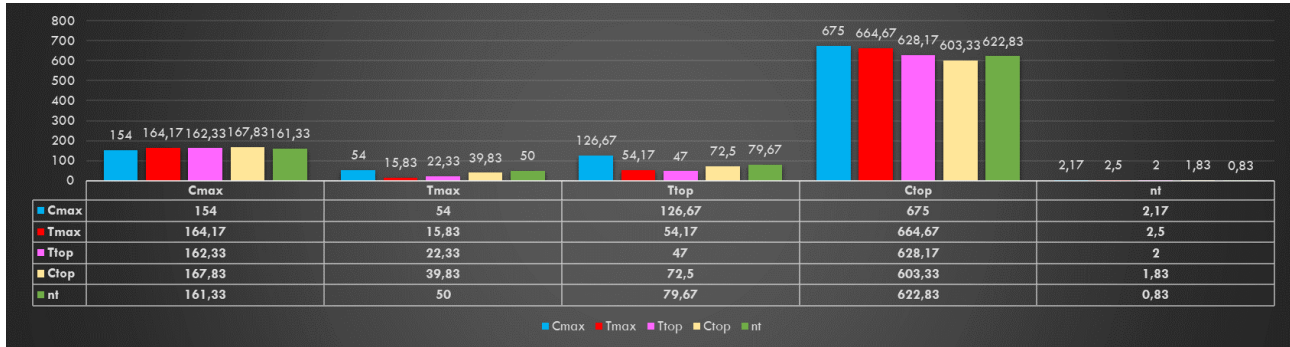


Şekil 10: Örnek gantt diyagramı (Example gantt diagram)

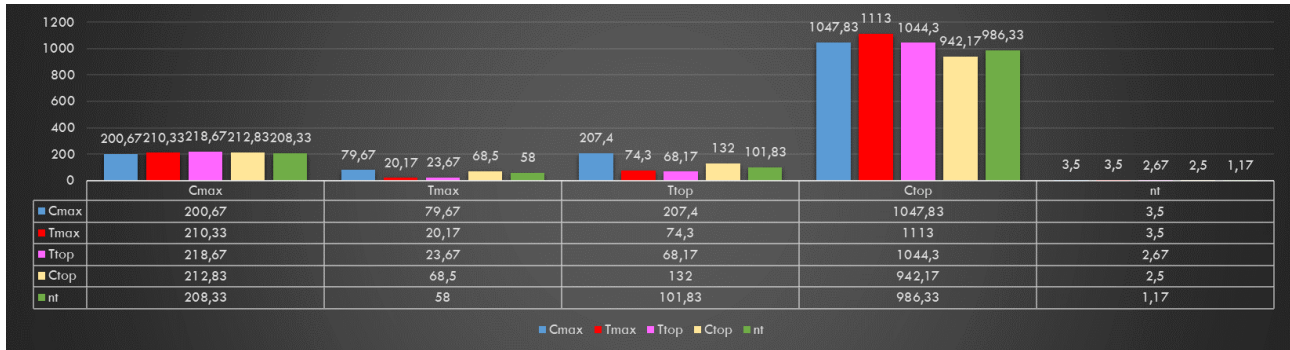
Ek-3: 6,8 ve 10 iş, 6 Küçük Veri Seti İçin Amaç Fonksiyonu Ortalama Değerleri



Şekil 11: 6 iş 6 veri seti için amaç fonksiyonu ortalama değerleri (Objective function mean values for 6 data sets of 6 jobs)



Şekil 12: 8 iş 6 veri seti için amaç fonksiyonu ortalama değerleri (Objective function mean values for 8 jobs 6 data sets)



Şekil 13: 10 iş 6 veri seti için amaç fonksiyonu ortalama değerleri (Objective function mean values for 10 jobs 6 data sets)

Ek-4: 50, 100 ve 200 iş, 10 ve 15 Makine İçeren Büyük Veri Setleri için Amaç Fonksiyonu Ortalamaları

Tablo 13: 50 iş 15 makine 10 veri seti için amaç fonksiyonu ortalama değerleri.
(Objective function mean values for 10 data sets of 50 jobs 15 machines.)

50 iş 15 makine	CTOP	TTOP	TMAX	CMAX	NT
CTOP	5758,2	135,9	83,8	252,8	2,0
TTOP	6573,2	15,7	11,9	264,4	0,6
TMAX	6560,2	16,3	9,3	268,1	0,8
CMAX	6156,3	133,9	76,6	231,9	2,2
NT	6281,9	17,8	17,1	258,1	0,4

Tablo 14: 100 iş 10 makine 10 veri seti için amaç fonksiyonu ortalama değerleri
(Objective function average values for 10 data sets of 100 jobs 10 machines)

100 iş 10 makine	CTOP	TTOP	TMAX	CMAX	NT
CTOP	33517,7	1422,5	463,8	694,0	6,5
TTOP	36785,0	619,9	268,8	749,9	4,9
TMAX	37302,5	828,9	200,7	760,1	5,8
CMAX	34336,3	1415,6	399,4	678,5	6,6
NT	36373,6	887,0	391,2	743,5	3,5

Tablo 15: 100 iş 15 makine 10 veri seti için amaç fonksiyonu ortalama değerleri
(Objective function mean values for 100 jobs 15 machines 10 data sets)

100 iş 15 makine	CTOP	TTOP	TMAX	CMAX	NT
CTOP	23169,0	557,0	258,1	489,3	4,6
TTOP	25917,5	122,4	82,7	521,8	1,6
TMAX	25659,7	148,0	68,9	524,2	2,3
CMAX	23585,9	501,1	274,5	471,6	3,6
NT	25301,7	143,2	101,2	508,3	1,3

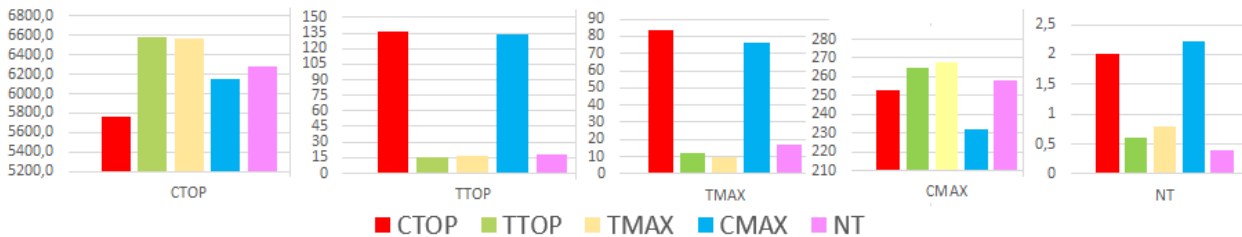
Tablo 16: 200 iş 10 makine 10 veri seti için amaç fonksiyonu ortalama değerleri
(Objective function average values for 200 jobs 10 machines 10 data sets)

200 iş 10 makine	CTOP	TTOP	TMAX	CMAX	NT
CTOP	138478,5	8223,5	996,3	1421,4	19,5
TTOP	144398,6	6296,6	847,6	1476,5	18,2
TMAX	147389,0	7690,7	750,3	1490,5	21,2
CMAX	141347,0	8568,7	1056,5	1393,7	18,8
NT	143970,8	6914,4	966,3	1458,5	15,4

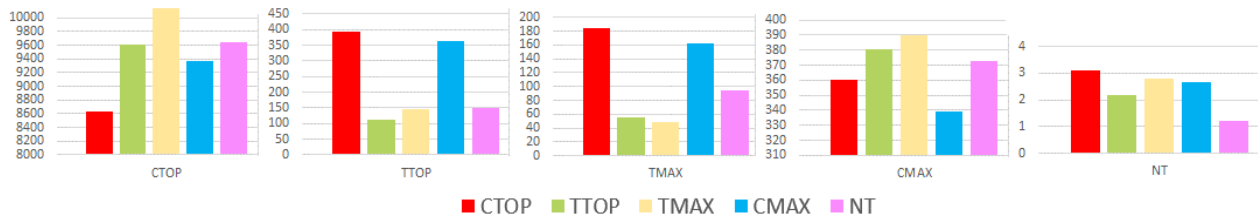
Tablo 17: 200 iş 15 makine 10 veri seti için amaç fonksiyonu ortalama değerleri
(Objective function average values for 200 jobs 15 machines 10 data sets)

200 iş 15 makine	CTOP	TTOP	TMAX	CMAX	NT
CTOP	93121,2	3034,8	662,2	970,2	9,1
TTOP	99729,9	1510,6	465,6	1017,2	6,8
TMAX	99922,7	1848,3	356,2	1011,9	8,9
CMAX	95035,2	3024,6	662,4	945,0	8,6
NT	98796,6	1753,2	538,8	995,1	5,7

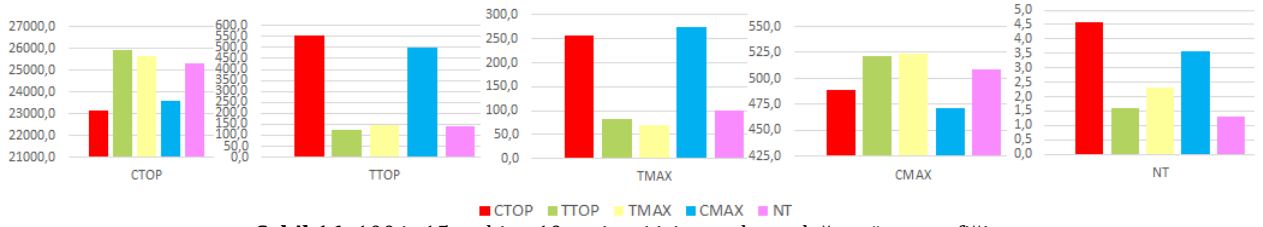
Ek-5: 50, 100 ve 200 iş, 10 ve 15 Makine İçeren Büyük Veri Setleri için Amaç Fonksiyonu Ortalama Grafikleri



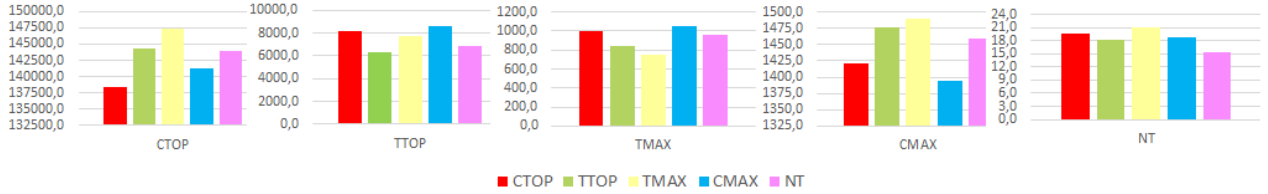
Şekil 14: 50 iş 15 makine 10 veri seti için ortalama değer sütun grafiği
(Average value bar chart for 50 jobs 15 machines 10 data sets)



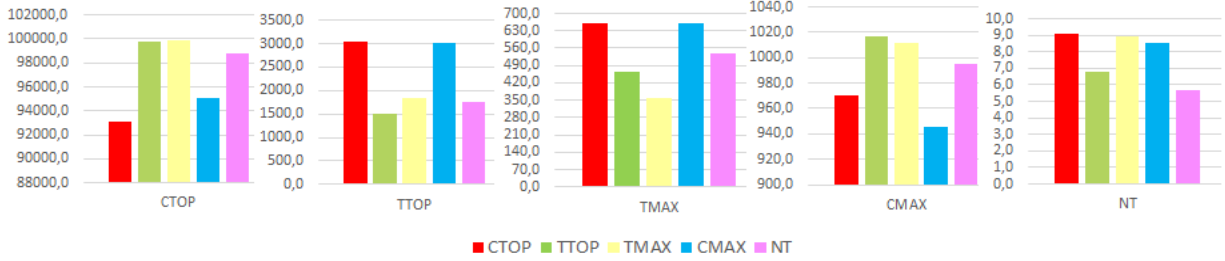
Şekil 15: 100 iş 10 makine 10 veri seti için ortalama değer sütun grafiği
(Average value bar chart for 100 jobs 10 machines 10 data sets)



Şekil 16: 100 iş 15 makine 10 veri seti için ortalama değer sütun grafiği
(Average value bar chart for 100 jobs 15 machines 10 data sets)



Şekil 17: 200 iş 10 makine 10 veri seti için ortalama değer sütun grafiği
(Average value bar chart for 200 jobs 10 machines 10 data sets)



Şekil 18: 200 iş 15 makine 10 veri seti için ortalama değer sütun grafiği
(Average value bar chart for 200 jobs 15 machines 10 data sets)



TOZ KAKAOLU İÇECEKLERİN PREBİYOTİK KOMBİNASYONUN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ YÖNÜNDE OPTİMİZASYONU

Şirin OBA^{1*}, Osman YILMAZ^{2*}

¹Amasya Üniversitesi, Suluova Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Bölümü, Amasya, Türkiye

²Amasya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoteknoloji Ana Bilim Dalı, Amasya, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Prebiyotik,
İnülin,
Polidekstroz,
Maltodekstrin,
Kakao.

Öz

Tüketiciler, prebiyotik bileşen içeren sağlıklı içecekleri giderek daha fazla talep etmektedir. İçecek üretiminde son ürünün kalitesi tercih edilen bileşenlere ve bu bileşenlerin kullanım oranına bağlıdır. Bu sebeple bu çalışmanın amacı toz kakaolu içeceğin kıvam artırıcı bileşenlerin prebiyotiklerle ikamesi ile ürün kalitesinde oluşturduğu fiziksel etkiler araştırılmıştır. Bu amaçla, bağımsız değişken prebiyotik bileşenler (inülin, polidekstroz, maltodekstrin) ve bunların kombinasyonlarının ürüne etkisi belirlenmiştir. Bu çalışma, prebiyotik toz kakao içecek formülasyonunu inülin, polidekstroz ve maltodekstrin ile optimize etmek için basit karışım tasarım yöntemini uygulamıştır. Tek yönlü merkezi bileşik tasarım, brix, çözünürlük su tutma kapasitesi, kütle yoğunluğu, carr indeksi, Hausner oranları ve ıslanma süresi gibi içeceklerin fiziksel özellikleri tahmin edilmiştir. İçecek formülasyonlarının kütle yoğunluğu verilerinin tahmini için hausner oranları (HO), carr indeks (CI) değerleri belirlenmiş ve sırasıyla $1,3\pm 0,00$ - $1,39\pm 0,03$ ile $22,25\pm 1,16$ - $28,18\pm 1,92$ aralığında tespit edilmiştir. Bu çalışmanın sonucunda genel arzu edilebilirlik maksimum su tutma kapasitesi ve suda çözünürlük değerlerine baz alınarak belirlenmiştir ve buna göre optimum prebiyotik oranları inülin, polidekstroz ve maltodekstrin için sırasıyla 6,762 ve 12,351 gr ve 3,875 gr olarak belirlenmiştir. Arzu edilebilirlik 0.87'e eşittir. Elde edilen sonuçlar, inülin, polidekstroz ve maltodekstrin kombinasyonu kullanılarak prebiyotik toz kakaolu içecek üretiminin mümkün olduğunu göstermektedir.

OPTIMIZATION OF COCOA POWDER BEVERAGES IN TERMS OF PHYSICAL PROPERTIES OF PREBIOTIC COMBINATION

Keywords

Prebiotic,
Inulin,
Polydextrose,
Maltodextrin,
Cocoa.

Abstract

Consumers are increasingly demanding healthy drinks containing prebiotic ingredients. The quality of the end product in beverage production depends on the preferred ingredients and the rate of use of these ingredients. Accordingly, this study aimed to investigate the physical effects of powdered cocoa beverages on product quality by substituting thickening components with prebiotics. For this purpose, the effects of independent variable prebiotic components (inulin, polydextrose, maltodextrin) and their combinations on the product were determined. This study applied the simple mix design method to optimize the prebiotic powdered cocoa beverage formulation with inulin, polydextrose, and maltodextrin. The one-way central composite design was to estimate the physical properties of beverages such as brix, solubility water holding capacity, bulk density, carr index, Hausner ratios, and wetting time. For the estimation of the bulk density data of beverage formulations, the hausner ratios (HO), and the carr index (CI) values were determined and were found to be in the range of 1.3 ± 0.00 - 1.39 ± 0.03 and 22.25 ± 1.16 - 28.18 ± 1.92 , respectively. As a result of this study, the general desirability was determined based on the maximum water holding capacity and water solubility values. Therefore, the optimum prebiotic ratios were determined as 6,762 and 12,351 g and 3.875 g for inulin, polydextrose, and maltodextrin, respectively. Desirability is equal to 0.87. The results show that it is possible to produce prebiotic powdered cocoa beverage using the combination of inulin, polydextrose and maltodextrin.

Alıntı / Cite

Oba, Ş., Yılmaz, O.,(2023). Toz Kakaolu İçeceklerin Prebiyotik Kombinasyonun Fiziksel Özellikleri Yönünden Optizasyonu, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(3), 1054-1065

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

Ş. Oba, 0000-0002-4620-7483
O. Yılmaz, 0000-0001-7579-8625

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	28.03.2022
Revizyon Tarihi / Revision Date	21.05.2023
Kabul Tarihi / Accepted Date	21.06.2023
Yayın Tarihi / Published Date	28.09.2023

*İlgili yazar / Corresponding author:sirin.oba@amasya.edu.tr, +90-554-582-67-55

OPTIMIZATION OF COCOA POWDER BEVERAGES IN TERMS OF PHYSICAL PROPERTIES OF PREBIOTIC COMBINATION

Şirin Oba^{1†}, Osman Yılmaz²,

¹Amasya University, Suluova Vocational School, Department of Food Processing, Amasya, Türkiye

²Amasya University, Graduate School of Science And Engineering, Department of Biotechnology, Amasya, Türkiye

Highlights

- Developed a cocoa-based functional beverage prepared using inulin, polydextrose, maltodextrin.
- In the optimum condition, the beverages showed acceptable physical properties.
- Cocoa beverage is classified between acceptable carr index hausner ratio limits and industrially appropriate.

Graphical Abstract

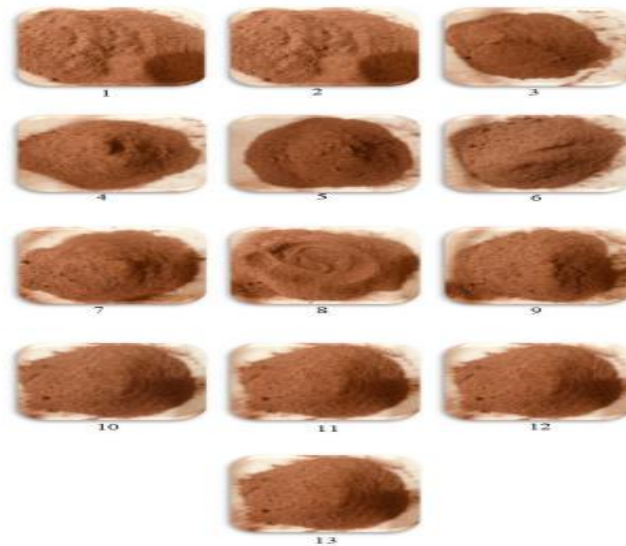


Figure. Powder Prebiotic Cocoa Drink Images

Purpose and Scope

The purpose of the paper is to find a solution to the problem of high calorie components such as starch with the use of prebiotics and to investigate the effect of prebiotic components on the physical properties of the product.

Design/methodology/approach

In this article, the particle density and dispersibility problem of prebiotic components, which are one of the two factors that may occur with component change, have been determined by constantly used wettability, water holding capacity, Carr Index ve hausner ratios methods for the suitability of powder beverage conditions.

Findings

The use of prebiotics in different ratios resulted in the determination of the physical properties of the beverage.

Social Implications

The formulation is effective in making the products delicious, but on the other hand, in this type of formulation, due to the high energy density of the products, the answer to various concerns about public health is provided by the selection of prebiotics and its applicability is very high.

Originality

Production of prebiotic beverages with the use of inulin, maltodextrin and polydextrose components in cocoa beverages is very limited in the literature. Only a few studies have determined the physical properties of the relevant product based on new product development. So, this study will help in the production of producible and consumable products suitable for the industry with the most widely used physical techniques.

[†]İlgili yazar / Corresponding author:sirin.oba@amasya.edu.tr, +90-554-582-67-55

1. Giriş (Introduction)

Kakaolu içeceklerin MÖ 1100 gibi erken bir dönemde tüketildiği bilinmektedir (Alberts ve Cidell, 2006). 16.yy dan itibaren ise kakao, su ve baharat karışımına, ürünü lezzetli bir hale dönüşmesinde etkili olan şeker, vanilya ve tarçının eklenmesiyle kakaolu içecekler Avrupa'da hızla tüketilen bir ürün haline dönüşmeye başlamıştır (Donadini vd., 2012). Şeker ve stabilizatörlerin yaygın olarak kullanımı tüketicilerin aşına olduğu ağızda tatlı his bırakan bir lezzetin oluşmasında etkili olmuştur (Mellor vd., 2018). 20. yüzyıla gelindiğinde ise kakaolu içeceklerin popülaritesi özellikle gıda sektörünün sanayileşmesiyle beraber daha da artmıştır. Günümüzde ise lezzetinin yanı sıra, Covid-19 döneminde tüketicilerin ruh hallerini iyileştirdiğine yönelik algısında etkisiyle çevrimiçi satın aldıkları diğer ürünlere nazaran kakaolu ve çikolatalı ürünlerde artan satış oranı ile ürünün pazar payındaki önemli hale gelmiştir (Laguna vd., 2020). Ayrıca günümüzde insanlar için zamanın ve hızın önemli bir hale dönüşmesi sonucunda hareket halindeyken yeme-içme trendinin artmasına bağlı olarak, instant kakao içecekleri ve/veya sıcak çikolatanın bizatihi kendisi tercih edilen gıda ürünlerinden biri olmuştur (Da SilvaLannes vd., 2008). Bunda özellikle, kakao içerikli sıcak içeceklerin hazırlanışında sıcak su veya süt içerisine toz malzemeler ilave edilerek hızlı şekilde hazırlanışı en büyük etkenlerden birisidir. Piyasada değişik tür ve aromalarda, farklı fiyatlara sahip ürünler bulunsu da hazır sıcak çikolata veya toz kakaolu içeceklerinin ana bileşenleri şeker, kakao tozu, yağsız süt tozu, peynir altı suyu tozu, nişasta, tatlandırıcılar, tuz ve hidrokolloidler olarak sıralanabilir (Doğan vd., 2013). Hidrokolloidler ve nişasta, kakaolu içeceklerin fiziksel ve duyuşal özellikleri açısından önemli farklılıklar sergilemesine sebep olmaktadır (Mazo Rivas vd., 2018). Kakao ve çikolata ile üretilen ürünlerin lezzetli bir hale dönüşmesinde formülasyon etkili olmakta, tüketim miktarını artırmaktadır; ancak diğer taraftan bu tip bir formülasyonda, ürünlerin enerji yoğunluklarının yüksek olması nedeniyle halk sağlığı konusunda çeşitli endişelere yol açmıştır (Donadini vd., 2012).

Bu nedenle bu çalışmanın başlıca amacı formülasyonda insan sağlığı konusunda çeşitli endişelere yol açan temel bileşen olan nişastanın yerine inülin, polidekstroz ve maltodekstrin gibi prebiyotiklerin kullanılması ile sıcak kakaolu içeceklerin işlevselliğini arttırmak ve sağlık konusunda oluşan endişelere yeni çözümler üretmek katkı sağlamaya çalışmaktır.

Prebiyotik bileşenler, daha önce fonksiyonel gıdaların geliştirilmesinde içerik olarak çalışılmış ve kullanılmıştır (Rosa vd., 2021). Kullanılan ana prebiyotik bileşikler; inülin (Reimer vd., 2020), maltodekstrin, ve polidekstroz (Bitaraf vd., 2013) gıda ürünlerine dahil edilen en yaygın diyet liflerinden bazılarıdır (Sarfaraşı vd., 2020). Bunlardan polidekstroz (PD), birçok ülkede yiyecek ve içeceklerde çözünür diyet lifi kaynağı olarak tanımlanmıştır. PD, %90 çözünür lif ve sadece 1 kcal/g enerji değerinden oluşur.

Inülin, esas olarak β -(2-1) fruktosil-fruktozglikozidik bağları içeren lineer bir oligo- veya polisakkaritlerdir. İnülin, hindiba, enginar, kuşkonmaz ve agav gibi bazı bitkilerde doğal olarak bulunmaktadır (Guimarães vd., 2022). Son olarak maltodekstrin ise, gıda endüstrisinde dolgu maddesi, doku değiştirici, yağ ikame maddesi ve hacim artırıcı olarak sıklıkla kullanılan bir başka düşük sindirilebilir karbonhidrattır. Maltodekstrin, 10 ila 20 arasında değişen dekstroz eşdeğeri (DE) ile kategorize edilir. Hidrolizin kapsamı arttıkça DE artar ve sonuç olarak ortalama moleküler kütle azalır. Yaklaşık 1-2 kcal/g sağlar (Sarfaraşı vd., 2020). PD, inülin ve maltodekstrin besin takviyesi, tekstüre edici, stabilizatör veya koyulaştırıcı, formülasyon yardımcı ve nemlendirici olarak kullanım için ABD Gıda ve İlaç İdaresi (FDA) tarafından doğrudan gıda katkı maddesi olarak onay alan bir gıda ürünüdür (Veenave vd., 2016).

Ürünün formülasyonunda bulunan hidrokolloidlerin sağladığı reolojik ve fiziksel özellikler sıcak kakaolu içecek ve salep için ürün kalitesinin bir göstergesidir (Marcotte vd., 2001). Bu nedenle gam kombinasyonunun optimizasyonu ürün için önemlidir. Birden fazla bileşen içeren ürünlerin formülasyon optimizasyonu için karışım deneysel tasarımları kullanılmaktadır. Bu yöntem, bileşenlerin gıdalar üzerindeki etkilerini gözlemlemek için tercih edilebilir ve içerik etkileşimlerinin önemini belirler (Doğan vd., 2013).

Bu çalışma "karışım tasarımı yaklaşımını" (Doğan, 2013) kullanarak prebiyotik kakaolu içeceğinin fiziksel özellikleri (brix, çözünürlük, su tutma kapasitesi, ıslanma süresi, kütle yoğunluğu, Carr İndeks, Hausner oranları) üzerinde inülin, polidekstroz ve maltodekstrin arasındaki etkileşimin etkisini araştırmak ve fiziksel özelliklerinin değerlendirilebileceği optimum ürün formülasyonunu belirlemek için yapılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

2.1. Materyal (Material)

Bu çalışmada toz prebiyotik içecek model ürününe hidrokolloidal bir özellik sağlayabilmek amacıyla üç farklı prebiyotik bileşen ilave edilmiştir. Bu amaçla prebiyotik toz kakaolu ürün formülasyonu için kullanılan materyaller şeker (Torku, Konya, Türkiye), kahve kreması (Nestle, İsviçre), kakao tozu (Tito İzmir, Türkiye),

inülin (Tito İzmir, Türkiye), polidekstroz (Tito İzmir, Türkiye) ve maltodekstrin (Tito İzmir, Türkiye) kullanılmıştır.

2.2. Toz Prebiyotik Kakaolu İçecek Karışımının Hazırlanması (Preparation of Powdered Prebiotic Cocoa Beverage Mixture)

Doğan vd.,(2011) tarafından oluşturulan prosedürde değişiklikler yapılarak içecek üretimi hazırlanmıştır. İçecek hazırlama prosedürüne göre homojen bir karışım elde etmek için şeker 6000 rpm'de 5 dk öğütülerek partikül boyutu küçültülmüştür. Formülasyonlarda ortalama parçacık çapı 100 µm ve daha düşük çapa sahip şeker kullanılmıştır. Bu kapsamda toz içecek üretiminde kahve kreması (2gr), şeker (5gr), kakao tozu (6gr) sabit oranlarda kullanılmış olup toplam karışım miktarı 36 gr olarak belirlenmiştir. Bunun dışında ürün kalitesine etki edecek 23 gr olan diğer kuru bileşenler bağımsız değişkenler olarak belirlenmiştir. Bunlar inülin, polidekstroz ve maltodekstrin olup optimum oranları karışım tasarımı yöntemi ile belirlendikten sonra Tablo 1.'de belirtilen oranlarda tartılıp toz içeceklerin hazırlanması amacıyla kuru malzemelerin tümü karıştırılmıştır.

Tablo 1. Toz prebiyotik kakaolu içecek formülasyonu (Powder prebiotic cocoa beverage formulation)

Materyal	Kullanım miktarı(gr)
Şeker	5
Kahve Kreması	2
Kakao tozu	6
İnülin	Tablo 2.
Polidekstroz	Tablo 2.
Maltodekstrin	Tablo 2.

2.3. Deneysel Tasarım ve İstatistiksel Analiz (Experiment Design and Statistical Analysis)

Bu çalışmada bileşenlerin optimizasyonu için karışım tasarımı (simple-mixture) kullanılmıştır. Araştırma kapsamında bağımsız değişkeni olarak inülin ($X_1;0-1$), polidekstroz ($X_2;0-1$) ve maltodekstrin ($X_3;0-1$) seçilmiş ve bu bileşenler ile kısıtlı bir karışım tasarımı $X_1 + X_2 + X_3 = 1$ olacak şekilde geliştirilmiştir. Bu kapsamda 3 faktörlü ve 3 seviyeli basit regresyon modelleri oluşturulmuştur. İçecek üretiminde karışım tasarımının belirlediği oranlara göre 3 adet tekerrür içeren toplamda 13 adet formülasyon hazırlanmıştır. Tablo 2.'de prebiyotik bileşenlerin kod, gerçek değerleri ve kakaolu toz içeceğin ürün formülasyon deneysel tasarımı gösterilmektedir. İçecek formülasyonunda yer alan bileşenler tartıldı ve homojen karışım sağlanana kadar bir kaşık yardımı ile karıştırıldı. Toz kakao içeceği 100 ml suya 30 saniye karıştırılarak yavaş yavaş ilave edildi ve analizler gerçekleştirildi.

Analiz sonucunda elde edilen bağımlı değişkenler ise suda çözünür kuru madde (Y_1), çözünürlük (Y_2), su tutma kapasitesi (Y_3), kütle yoğunluğu (Y_4), Carr İndeksi (CI) ve Hausner oranları (HO) (Y_5) ve ıslanma süresi (Y_6) olarak belirlenmiştir. Toz prebiyotik kakaolu karışımının hazırlanmasına yönelik değişkenlerin yanıt değişkeni üzerine etkisi incelenerek en yüksek değerlere sahip içecek 'desirability' fonksiyon yaklaşımına göre optimize edilmiştir. Toz prebiyotik kakaolu karışımların hazırlanması işlemleri sonucunda elde edilen yanıtların regresyon analizi için Eşitlik (1)'de verilen model kullanılmıştır.

$$Y = \beta_0 + \beta_i X_i + \beta_{ij} X_{ij} + \dots \dots \beta_j X_j + e \quad (1)$$

Denklemden Y yanıt değişkeni, X_i ve X_j değişkenler ve β_0 kesişme katsayısıdır; β_i , β_{ij} , β_j sırasıyla doğrusal, ikinci dereceden ve ikinci dereceden terimlerin etkileşim katsayılarıdır; ϵ bağımsız parametrelerin sayısını göstermektedir.

Bağımsız değişkenlerin (inülin, polidekstroz ve maltodekstrin) yanıtlar üzerindeki doğrusal (Linear), iki faktörlü etkileşimi (2FI) ve polinomial (Quadratic) etkileşimi modelleri % 95 güven aralığında F (Fischer) testi ile belirlenmiştir. Her bir model için ANOVA ile belirlenen model regresyon katsayısı (R^2) ve F değeri, düzeltilmiş regresyon katsayısı (Adj- R^2), uyum eksikliği (lack of fit>0,1), tahminlenmiş çoklu regresyon katsayısı (Pre- $R^2 > 0,7$), değişim katsayısı (C.V<10) ve yeterli kesinlik (Adeq Preci-sion>4) değeri gibi istatistiksel parametrelerine bakılarak model ile uyumuna karar verilmiştir. Elde edilen sonuçların 3D grafikleri Design Expert 11.0 programı kullanılarak çizilmiştir.

Tablo 2. Bağımsız değişkenlerin kodlanmış ve gerçek değerleri ile ürün formülasyonunu içeren deneysel tasarımı
(Experimental design of independent variables including coded and actual values and product formulation)

No	Şeker	Sabit Bileşenler (g /36 g)			Bağımsız Değişkenlerin Gerçek değerleri (g /36 g)			Bağımsız Değişkenlerin Kodlanan değerleri		
		Kahve kreması	Kakao Tozu	İnülin	Poli dekstroz	Malto dekstrin	İnülin	Poli dekstroz	Malto dekstrin	
				(X ₁)	(X ₂)	(X ₃)	(X ₁)	(X ₂)	(X ₃)	
1	5	2	6	0	23	0	0	1	0	
2	5	2	6	3,68	3,68	15,64	0,166667	0,166667	0,666667	
3	5	2	6	23	0	0	1	0	0	
4	5	2	6	11,5	0	11,5	0,5	0	0,5	
5	5	2	6	23	0	0	1	0	0	
6	5	2	6	0	23	0	0	1	0	
7	5	2	6	0	0	23	0	0	1	
8	5	2	6	7,66	7,66	7,66	0,333333	0,333333	0,333333	
9	5	2	6	0	11,5	11,5	0	0,5	0,5	
10	5	2	6	3,68	15,64	3,68	0,166667	0,666667	0,166667	
11	5	2	6	0	0	23	0	0	1	
12	5	2	6	11,5	11,5	0	0,5	0,5	0	
13	5	2	6	15,64	3,68	3,68	0,666667	0,166667	0,166667	

2.4. Toz İçeceklerin Analizleri (Analysis of Powder Beverage)

2.4.1. Suda Çözünür Kuru Madde Tayini (Determination of Water-Soluble Dry Matter)

Numunelerin suda çözünür kuru madde (brix) içeriği, otomatik bir refraktometre (Reichert AR 700, ABD) kullanılarak oda sıcaklığında belirlendi ve sonuçlar 25°C'de Brix derecesi olarak ifade edildi (Doğan vd., 2011).

2.4.2. Su Tutma ve Suda Çözünürlük Özellikleri (Water Retention and Water Solubility Properties)

Örneklerin su tutma ve suda çözünürlük özellikleri belirlenirken Reddy vd., (2013) tarafından belirtilen yöntem kullanılmıştır. Bu amaçla darası kaydedilmiş olan santrifüj tüplerine 0,5gr örnek tartılıp üzerlerine 6 ml distile su ilave edilmiştir. Her 10 dakikada bir çıkartılıp vortekslenmek (30 sn) üzere 30°C'de 30 dakika boyunca su banyosunda bekletilmiştir. Su banyosundan çıkartıldıktan sonra 5000 rpm'de 10 dakika santrifüj edilmiştir. Sıvı kısmı daha önceden sabit tartıma getirilmiş olan petrilere aktarılıp 105°C etüvde 4 saat kurutulmuştur. Santrifüj tüpünde kalan yaş kısım tartıldıktan sonra hesaplamalar (2) ve (3)'de verilen eşitliklere göre yapılmıştır. Analizler iki tekrarlı olacak şekilde gerçekleştirilmiştir.

$$\text{Suda çözünürlük} = \frac{\text{Sıvı kısımda çözünmüş madde miktarı}}{\text{Tartılan örnek miktarı}} \times 100 \quad (2)$$

$$\text{Su tutma kapasitesi} = \frac{\text{Yaş kalıntı miktarı}}{\text{Tartılan örnek miktarı} - \text{Çözünmüş madde miktarı}} \times 100 \quad (3)$$

2.4.3. Islanma Süresi (Wetting Time)

Islanma süresi, gıda tozlarının anlık özelliklerini değerlendirmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Toz numunenin ıslanma süresi Shittu vd., (2007) tarafından oluşturulan yöntemde değişiklikler yapılarak belirlenmiştir. Islanma süresi, tüm tozun ıslanması ve 25°C'de damıtılmış suyun yüzeyine nüfuz etmesi için gereken süre (saniye) olarak kabul edilmiştir. Buna göre mezüre konan 25°C'de 100ml'lik damıtılmış su üzerine toz numune (2 g) eklenerek tozun tamamen ıslanması için geçen süre kronometre ile ölçülmüştür.

2.4.4. Kütle Yoğunluk, Sıkıştırılmış Yoğunluk, Carr İndeks ve Hausner Oranı (Bulk Density, Tapped Density, Carr Index and Hausner Ratio)

Toz içecek karışımlarının yığın yoğunluğunun tespit edilebilmesi için toz örnekleri 10 ml'lik mezür içerisine herhangi bir basınç uygulamaksızın boşaltılmıştır. Yığın yoğunluk değeri, toz içecek karışım kütlelerinin mezürde doğrudan okunan hacme oranlanmasıyla hesaplanmıştır. Daha sonra, sıkıştırılmış yoğunluk ölçümü için toz örneğin eklendiği mezürün manuel olarak sert bir zemin üzerine 200 kez vurulduktan sonra okunan hacme oranlanmasıyla hesaplanmıştır (Etti vd., 2016). Tozun akışkanlığı ve yapışkanlığı sırasıyla Carr indeksi (CI) ve Hausner oranı (HO) açısından değerlendirilmiştir. CI ve HO oranları sırasıyla eşitlik (4) ve (5) kullanılarak tozun yığın yoğunluğu ve sıkıştırılmış yoğunluk verileri kullanılarak hesaplanmıştır:

$$CI = \frac{\text{Sıkıştırılmış yoğunluk} - \text{Yığın yoğunluğu}}{\text{Sıkıştırılmış yoğunluğu}} \quad (4)$$

$$HO = \frac{\text{Sıkıştırılmış yoğunluk}}{\text{Yığın yoğunluğu}} \quad (5)$$

Tozun akışkanlığının ve yapışkanlığının sınıflandırılması sırasıyla CI ve HO değerlerine göre yapılmıştır. CI değeri <15 çok iyi akışkanlık, 15-20 iyi ve >35 kötü akışkanlığı göstermektedir. Benzer şekilde 1.0–1.1'lik bir hausner oranı HO, mükemmel akıcılık, 1.12–1.18 iyi akışkanlık ve 1,19–1,25 orta düzeyde akıcılık anlamına gelmektedir.

3. Deneysel Sonuçlar(Experimental Results)

3.1Toz Prebiyotik Kakaolu İçeceklerin Briks, Çözünürlük ve Su Tutma Kapasitesi (Brix, Solubility and Water Holding Capacity of Powdered Prebiotic Cocoa Beverage)

Suda çözünür kuru madde, duyuşal özellikleri ve en önemlisi de tat algısını etkilediği için kakaolu içecek yapımında kakao tozunun kalitesini belirleyen önemli bir parametredir (Benković vd., 2013). Suda çözünür kuru madde içeriğinin belirlenmesi içeceklerin anında çözünür özelliklerini değerlendirmek için önemli bir faktördür. Prebiyotik özellik gösteren bileşenler ile hazırlanan toz içecek örneklerinin brix, çözünürlük ve su tutma kapasitesi özelliklerine ait bulgular Tablo. 3'te gösterilmiştir. Farklı konsantrasyonlarda prebiyotikler ile hazırlanan toz kakaolu içecek örneklerinin brix değerleri arasında istatistiksel olarak fark bulunmamıştır ($p>0,05$). Tablo 3.'te görüldüğü üzere örneklerin suda çözünür kuru madde değerleri $22,2\pm 0,0$ ile $26,00\pm 0,00$ arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir. Ek olarak Tablo 3.'te farklı oranlarda kullanılan prebiyotik hidrokolloidlerin su tutma kapasitesi, suda çözünürlük değerleri gösterilmiş ve sırasıyla $3,28\pm 0,37$ - $5,37\pm 0,70$ ile $77\pm 1,41$ - $96,5\pm 4,94$ aralığında tespit edilmiştir.

İnülin, polidekstroz ve maltodekstrinin kullanım oranlarına bağlı olarak çözünür kuru madde, suda çözünürlük ve su tutma kapasitesi özelliklerinin değişimi için en uygun modeller sırasıyla lineer, kuadratik ve kübik olarak belirlenmiştir. Bu modellere ait R^2 değerleri sırasıyla brix değerleri için 0,9409, çözünürlük için 0,80 ve son olarak su tutma kapasitesi için 0,9640 belirlenmiştir. R^2 değerinden de anlaşıldığı gibi inülin, polidekstroz ve maltodekstrin ilaveli içeceklerin brix, çözünürlük ve su tutma kapasitesi değerleri üzerindeki etkileri model ile başarılı bir şekilde açıklanabilmektedir (Tablo 4.)

Toz gıdalar bileşiminde kullanılan maddelerin yararlı ve işlevsel özelliklerini sergileyebilmesi için iyi çözünürlük sağlayabilmelidir (Morr vd., 1985). Çözünürlük, tozun çözünmesinin son aşamasıdır ve genel sulandırma kalitesinin temel belirleyicisi olarak kabul edilir. Bu değerlendirmelere göre toz içecek formülasyonunda 23 gr maltodekstrin ilavesi ile hazırlanan örneklerde en yüksek çözünürlük değerleri elde edilmiş ve %94 ile %96,5 değerleri arasında belirlenmiştir. Benzer sonuçlar 23 gr polidekstroz ilavesinin çözünürlük değerlerinde (%92) de elde edilmiş olup maltodekstrin çözünürlüğünden istatistiksel olarak farklı değildir ($p>0,05$). Ancak toz içecek örneklerinde inülin kullanımının çözünürlük üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu ve örneklerde %77 ile %82 arasında çözünürlük elde edilmiş olup maltodekstrin ve polidekstroz çözünürlüğünden istatistiksel olarak farklı olduğu saptanmıştır ($p<0,05$). Bu bileşenin kullanımı ile birlikte örneklerin çözünürlüğünde azalmaya neden olmuştur. Bu durum inülin bileşenin farklı molekül ağırlıkları ve polimerin zincir uzunluğunun çözünürlüğü etkilemekte olup yakından ilişkisi ile açıklanabilir (Barclay vd., 2016).

Diyet liflerin teknolojik özellikleri arasında yer alan su tutma kapasitesi lifin matrisinde suyun tutulması ölçümüne dayanmaktadır (Chen vd, 2018).Tablo 3.'ten elde edilen sonuçlar, üç çeşit prebiyotiğin kullanımı ile hazırlanan toz kakaolu içeceklerin su tutma kapasitesi değerlerini göstermektedir. En yüksek su tutma kapasitesi sırasıyla 3,68: 15,64: 3,36 gr inülin, polidekstroz ve maltodekstrin kullanılarak hazırlanan toz içecek formülasyonunda (10. deneme noktası) $5,3\pm 0,14$ (g/g) bulunurken en düşük ise sırasıyla 0: 11,5: 11,5 oranında inülin, polidekstroz ve maltodekstrin ile hazırlanan formülasyonda (9. deneme noktası) $3,28\pm 0,37$ (g/g) olarak gözlemlenmiştir. Farklı oranlarda üç çeşit prebiyotiğin kullanımı su tutma kapasitesi karakteristiğinin geliştirilmesini sağlamıştır. Su bağlama karakteristiğinin geliştirilmesi, bir polidekstroz konsantrasyonuna bağlıdır. Bu bulgu, su bağlama potansiyeli nedeniyle polidekstrozun stabilizatör ve vücut oluşturucu ajan olarak kullanılabileceğini yansıtmaktadır (Amid vd., 2013: Huang vd., 2020). Benzer sonuçlar Srisuvor vd., (2013) tarafından da rapor edilmiştir. İnülin veya polidekstroz ilavesinin, sulandırılmış süttten üretilen az yağlı yoğurdun su tutma yüzdesini arttırdığı çalışma sonucundaki bulgularla desteklenmiştir.

Tablo 3. Toz içeceklerin bağımlı değişkenlerinin sonuçları (Results of dependent variables of powdered beverages)

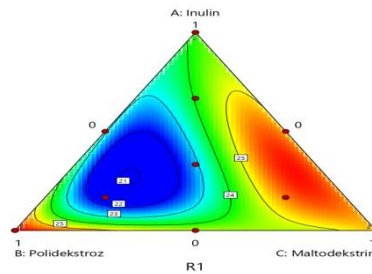
No	İnülin X ₁ (gr)	Poli dekstroz X ₂ (gr)	Malto deksrin X ₃ (gr)	Brix	Çözünürlük	Su tutma kapasitesi	Islanma Süresi	Kütle yoğunluğu	HR	CI
1	0	23	0	26±0,00	90±2,12	3,91±0,66	4,93±0,58	0,58±0,01	1,34±0,01	22,25±1,16
2	3,68	3,68	15,64	26±0,00	91±5,65	4,37±0,70	10,71±1,24	0,62±0,00	1,31±0,05	24,07±2,99
3	23	0	0	24±0,0	77±1,41	3,86±0,26	5,38±0,54	0,6±0,00	1,32±0,06	24,41±3,76
4	11,5	0	11,5	25±0,00	88±8,48	4,56±0,15	16,59±0,89	0,6±0,00	1,3±0,00	23,25±0,00
5	23	0	0	24,5±0,0	82±5,65	3,62±0,15 ^s	4,40±0,06	0,615±0,02	1,34±0,01	24,4±0,84
6	0	23	0	26±0,00	92±7,77	3,95±0,18	4,38±1,12	0,58±0,05	1,32±0,05	22,86±2,76
7	0	0	23	25±0,00	96,5±4,94	4,10±0,58	10,01±1,6	0,61±0,01	1,34±0,02	25,83±1,17
8	7,66	7,66	7,66	22,2±0,0	89±5,65	4,54±0,12	6,21±1,83	0,6±0,00	1,38±0,05	27,56±2,80
9	0	11,5	11,5	24,5±0,0	94±5,65	3,28±0,37	5,52±1,4	0,615±0,07	1,38±0,03	27,77±1,57
10	3,68	15,64	3,68	22±0,00	83,5±3,53	5,3±0,14	3,70±0,23	0,6±0,00	1,39±0,03	28,18±1,92
11	0	0	23	25,5±0,0	94±8,48	4,32±0,03	8,64±0,74	0,61±0,02	1,34±0,03	25,85±1,99
12	11,5	11,5	0	23±0,00	85±8,48	4,80±0,27	4,76±1,78	0,62±0,02	1,35±0,02	25,91±1,29
13	15,64	3,68	3,68	24,5±0,0	88±12,72	3,95±0,50	4,06±0,19	0,6±0,00	1,3±0,00	23,53±0,39

Şekil 1., Şekil 2. ve Şekil 3.'te sırasıyla toz içecek örneklerinin suda çözünür kuru madde, çözünürlük ve su tutma kapasitesi özellikleri üzerine bağımsız değişkenler olan inülin, polidekstroz ve maltodekstrin oranlarının etkisi gösterilmiştir. Toz içeceklerin incelenen aralıklarda toplam brix, çözünürlük ve su tutma kapasitesi değişimini ifade eden model denklik ise Eşitlik (6), (7) ve Eşitlik (8)'de gösterildiği gibi bulunmuştur.

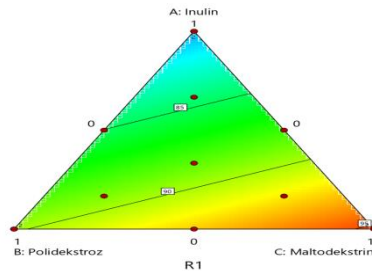
$$\text{Brix} = 24X_1 + 26,04X_2 + 25,29X_3 - 8,06X_1X_2 + 1,44X_1X_3 - 4,06X_2X_3 + 49,64X_1^2X_2X_3 - 265,36X_1X_2^2X_3 + 121,64X_1X_2X_3^2 \quad (6)$$

$$\text{Çözünürlük} = 80,29X_1 + 89,79X_2 + 95,29X_3 \quad (7)$$

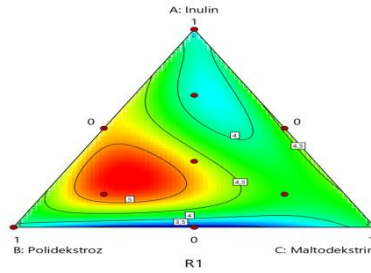
$$\text{Su tutma kapasitesi} = 3,75X_1 + 3,94X_2 + 4,22X_3 + 3,97X_1X_2 + 2,45X_1X_3 - 3,05X_2X_3 - 79,65X_1^2X_2X_3 + 105,39X_1X_2^2X_3 + 3,51X_1X_2X_3^2 \quad (8)$$



Şekil 1. İnülin, polidekstroz ve maltodekstrin karışım oranlarının toz prebiyotik kakaolu içeceklerinin briks değerleri üzerindeki etkisi (The effect of mixing ratios of inulin, polydextrose and maltodextrin on the brix values of powdered prebiotic cocoa beverages)



Şekil 2. İnülin, polidekstroz ve maltodekstrin karışım oranlarının toz prebiyotik kakaolu içeceklerinin çözünürlük üzerindeki etkisi (The effect of mixing ratios of inulin, polydextrose and maltodextrin on the solubility of powdered prebiotic cocoa beverages)



Şekil 3. İnülin, polidekstroz ve maltodekstrin karışım oranlarının toz prebiyotik kakaolu içeceklerin su tutma kapasitesi üzerindeki etkisi (The effect of powdered beverages prepared with inulin, polydextrose and maltodextrin on water holding capacity)

3.2. Toz Prebiyotik Kakaolu İçeceklerin Islanma Süresi (Wetting Time of Powdered Prebiotic Cocoa Beverage)

Toz gıdaların yeniden yapılandırılmasında izlenen sıra, aynı zamanda, ürünün doğasına ve arzu edilen nihai kullanımına da bağlıdır. Bu süreçlerin her birinin gerçekleşme kolaylığı, hazır gıdaların nihai kullanım kalitesiyle doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle, ıslanabilirlik, dağılılabilirlik ve çözünürlük gibi ürün özellikleri, hazır toz gıdaları karakterize etmek için sıklıkla kullanılmıştır (Barletta& Barbosa-Carnovas, 1993). Bu nedenle, prebiyotik özellik gösteren bileşenler ile hazırlanan toz içecek örneklerinin ıslanma süresi özellikleri değerlendirilmiş ve bu özelliğe ait bulgular Tablo 3.'te gösterilmiştir. Farklı konsantrasyonlarda prebiyotikler ile hazırlanan toz kakaolu içecek örneklerinin ıslanma süreleri istatistiksel olarak farklı bulunmuş ($p<0.05$) ve ıslanma süreleri $3,70\pm 0,23$ ile $16,59\pm 0,89$ arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir.

İnülin, polidekstroz ve maltodekstrinin kullanım oranlarına bağlı olarak ıslanma süresi özelliklerinin değişimi için en uygun modeller sırasıyla lineer, kuadratik ve kübik olarak belirlenmiştir. Bu modellere ait R^2 değerleri sırasıyla ıslanma süresi değerleri için 0,9811 olarak belirlenmiştir. R^2 değerinden de anlaşıldığı gibi inülin, polidekstroz ve maltodekstrin ilaveli içeceklerin ıslanma süresi değerleri üzerindeki etkileri model ile başarılı bir şekilde açıklanabilmektedir (Tablo 4).

Tablo 4. Toz içeceklerin brix, çözünürlük ve su tutma kapasitesi, ıslanma süresi, kütle yoğunluğu ve CI değerleri için varyans analiz sonuçları (Variance analysis results for brix, solubility and water holding capacity, soaking time, bulk density and CI values of powdered beverages)

Kaynak	Brix		Çözünürlük		Su Tuma Kapasitesi		Islanma Süresi		Kütle Yoğunluğu		CI	
	F	DF	F	DF	F	DF	F	DF	F	DF	F	DF
Model	7,96*	8	20,62*	2	13,40*	8	25,99*	8	4,64*	5	10,00*	8
Doğrusal karışım	3,75	2	20,62*	2	0,7138	2	46,89*	2	5,88*	2	3,39	2
$X_1 * X_2$	9,96*	1			26,19*	1	0,0217	1	5,04	1	7,76*	1
$X_1 * X_3$	0,3157	1			9,97*	1	90,59*	1	2,51	1	6,09	1
$X_2 * X_3$	2,53	1			15,47*	1	2,66	1	4,11	1	17,48*	1
$X_1^{2*} X_2 * X_3$	0,7413	1			20,71*	1	21,71*	1			1,59	1
$X_2^{2*} X_1 * X_3$	21,18*	1			36,25*	1	25,97	1			17,91*	1
$X_3^{2*} X_2 * X_1$	4,45	1			0,0401	1	1,77	1			4,31	1
Kalıntı		4		10		4		4		7		4
Uyum Eksikliği	12,81	1	1,27	7	3,77	1	2,95	1	2,43	4	31,87*	1
Hata		3		3		3		3		3		3
Genel		12		12		12		12		12		12
Standart Hata	0,5738		2,64		0,1742		0,8827		0,0083		0,7358	
Ortalama	24,48		88,46		4,20		6,87		0,6038		25,07	
C.V	2,34		2,99		4,15		1,85		1,37		2,94	
R^2	0,9409		0,8048		0,9640		0,9811		0,7681		0,9524	
Adj- R^2	0,8227		0,7658		0,8921		0,9434		0,6025		0,8571	
Tahmini R^2	-7,2470		0,6757		-2,4935		-0,6394		-0,0124		-6,4738	

* P değerinin 0,05'den küçük model terimlerinin önemli olduğunu gösterir.

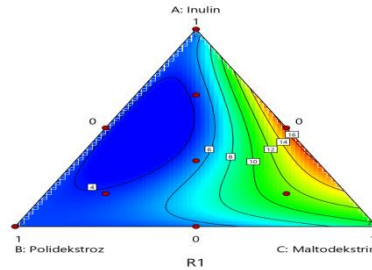
En yüksek ıslanma süresi, sırasıyla 11,5:0:11,5gr inülin, polidekstroz ve maltodekstrin kullanılarak hazırlanan

toz içecek formülasyonunda (4. deneme noktası) $16,59 \pm 0,89$ (g/g) bulunurken en düşük ise sırasıyla 3,68:15,64:3,68gr inülin, polidekstroz ve maltodekstrin ile hazırlanan formülasyonda (10. deneme noktası) $3,70 \pm 0,23$ (g/g) olarak gözlemlenmiştir.

Doğan vd.,(2016) tarafından kullanılan yöntemle göre hazırlanmış instant toz kakaolu içecek formülasyonunda şeker, süt tozu, peynir altı suyu tozu, kakao, patates nişastası, modifiye mısır nişastası, çikolata tozu, çikolata aroması, tuz ve sakız (ksantan, keçiyoynuzu zamkı) bileşenleri karıştırılmış ve ıslanma sürelerinin değerlendirildiği çalışmada örneklerin ıslanma süresi minimum 18 ile maksimum 170s arasında tespit edilmiştir. Örneklerin ıslanma sürelerinin yüksek olmasının nedenini bileşenlerin (kakao ve süt tozu) yağ oranının fazlalığına bağlı olduğunu bildirmişlerdir. Bunlara kıyasla yapığımız çalışmada; ıslanma süreleri minimum 3s ile maksimum 16s arasında belirlenmiş olup yağı azaltılmış kakao tozu kullanıldığı için ıslanma süreleri düşük olarak tespit edilmiştir. Islanabilirlik arttıkça partiküller içecekte daha uzun süre askıda kalabilir. Toz içecek örneklerinde inülin ve maltodekstrin oranlarının artışıyla ıslanma süresinde artış görülmüştür. Doğrusal karışım, inülin ve maltodekstrin interaksyonunun istatistiksel olarak önemli olduğu tespit edilmiştir. Bu sonucun oluşabilmesi için toz bileşenlerin su ile sulandırılması katıların kılcallık özelliği sayesinde sıvının granülün gözenekli matrisine nüfuz etme kolaylığı artırılarak, ıslatma sürelerinde belirgin bir azalma sağlanması gerekmektedir (Vissotto vd.,2010). Bundan dolayı ıslanma süresi düşük olan örneklerde suyun yapıya hızlı nüfuz etmesinin etkisi olduğu düşünülmektedir. Toz içeceklerin inülin, polidekstroz ve maltodekstrin oranlarının önemli olduğunun belirlendiği karışım dizaynıyla elde edilen model ile tahmin etmek ve ıslanma süresi değerleri ile ilişkileri belirlemek için kurulan Eşitlik (9)'da gösterildiği gibi bulunmuştur.

$$\text{Islanma Süresi} = 4,85X_1 + 4,61X_2 + 9,28X_3 - 0,5789X_1X_2 + 37,41X_1X_3 - 6,41X_2X_3 - 413,21X_1^2X_2X_3 - 45,20X_1X_2^2X_3 + 117,97X_1X_2X_3^2 \quad (9)$$

Şekil 4'te toz içecek örneklerinin ıslanma süresi değerleri üzerine bağımsız değişkenler olan inülin, polidekstroz ve maltodekstrin oranlarının etkisi gösterilmiştir.



Şekil 4. İnülin, polidekstroz ve maltodekstrin ile hazırlanan toz içeceklerin ıslanma süreleri üzerindeki etkisi (The effect of powdered beverages prepared with inulin, polydextrose and maltodextrin on wetting times)

3.3. Kütle Yoğunluk, Sıkıştırılmış Yoğunluk, Carr İndeks ve Hausner Oranı (Bulk Density, Tapped Density, Carr Index and Hausner Ratio)

Paketleme yoğunluğu olarak da adlandırılan yığın yoğunluğu, birim hacim başına tozun ağırlığını temsil eder ve genellikle kg/m^3 veya g/cm^3 olarak ifade edilebilir. Yığın yoğunluğu, toz ürünler için hayati önem taşır çünkü parçacıkların kendi hacimlerinin yanı sıra parçacıklar arasındaki boşlukları da içerir. Bu yüzden bir tozun yığın yoğunluğu, sıkıştırma, konsolidasyon vb. gibi parçacıkların paketlenme şekline bağlı olarak büyük ölçüde değişir ve paketlenmesini, taşınmasını ve işlenmesini etkilemektedir (Özdemir, 2021). Bu anlamda yeni bir ürün seçeneği olarak çikolatalı toz içeceklerin formülasyonlarının kütle yoğunluğu, HO ve CI özelliklerinin değerlendirilmesi önemlidir. Farklı konsantrasyonlarda prebiyotikler ile hazırlanan toz kakaolu içecek örneklerinin kütle yoğunluğu değerleri arasında istatistiksel olarak fark bulunmamış ($p > 0,05$) olup örneklerin kütle yoğunluğu değerleri $0,59 \pm 0,01$ ile $0,62 \pm 0,02$ arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir. Ek olarak Tablo 3'te farklı oranlarda kullanılan prebiyotik hidrokolloidlerin hausner oranları (HO), carr indeks (CI) değerleri gösterilmiş ve sırasıyla $1,3 \pm 0,00$ - $1,39 \pm 0,03$ ile $22,25 \pm 1,16$ - $28,18 \pm 1,92$ aralığında tespit edilmiştir.

İnülin, polidekstroz ve maltodekstrinin kullanım oranlarına bağlı olarak kütle yoğunluğu ve carr indeks (CI) özelliklerinin değişimi için en uygun modeller sırasıyla lineer, kuadratik ve kübik olarak belirlenmiştir. Bu modellere ait R^2 değerleri sırasıyla kütle yoğunluğu değerleri için 0,8114, carr indeks (CI) için 0,9524 belirlenmiştir. R^2 değerinden de anlaşıldığı gibi inülin, polidekstroz ve maltodekstrin ilaveli içeceklerin kütle yoğunluğu ve carr indeks (CI) değerleri üzerindeki etkileri model ile başarılı bir şekilde açıklanabilmektedir (Tablo 4.). Ancak HO değerleri için bu mümkün olmamıştır. Kullanılan bu bileşenlerin ilgili parametre üzerine

etkisini ifade eden model ($p>0.05$) istatistiksel olarak önemsiz belirlenirken uyum eksikliği (lack of fit) değerleri önemli bulunmuştur ($p<0.05$). Kullanılan bu bileşenlerin kütle yoğunluğu parametresi üzerinde modelin uyumsuzluğu (lack of fit) ($p>0.05$) önemsiz iken CI değeri için uyumsuzluk (lack of fit) önemli bulunmuştur ($p<0.05$). Şekil 5. ve Şekil 6.'da toz kakaolu içecek örneklerinin kütle yoğunluğu ve carr indeks (CI) değerleri üzerine bağımsız değişkenler olan inülin, polidekstroz ve maltodekstrin oranlarının etkisi gösterilmiştir.

Tablo 4.'te gösterilen varyans analiz sonuçlarına göre inülin, polidekstroz ve maltodekstrin pozitif yönde doğrusal karışımın etkisi önemli ($p<0,05$) bulunmuş ve etkinin artmasıyla birlikte kütle yoğunluğunu artırıcı etkisi bulunduğu saptanmıştır. Çalışma kapsamındaki örneklerde farklı prebiyotik maddeleri aynı oranda içeren örneklerin kütle yoğunluğu değerleri arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olmadığı sonucu ortaya çıkmıştır.

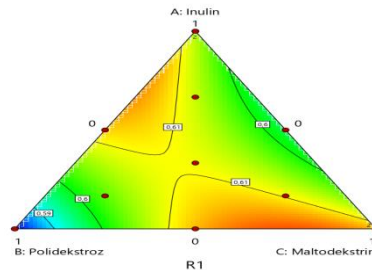
Benzer sonuçlar Han vd.,(2018) yüksek lifli çerez yapımı için farklı ticari lif malzemeleri (inülin, polidekstroz, maltodekstrin) ve mısır unu ile birlikte ekstrüde edilen örneklerinde elde edilmiş olup yığın yoğunluğu dirençli maltodekstrin ilavesi ile kontrolden daha düşük kütle yoğunluğu elde edilirken, karışıma polidekstroz ilavesi ile ürün yığın yoğunluğunu değiştirmediği tespit edilmiştir.

Lourenço vd.,(2020) ananas kabuğundaki fenolik bileşiklerin maltodekstrin, inülin ve arap zıncığı ile enkapsülasyonu sonucunda elde edilen örneklerin yığın yoğunluk değerleri 0,18 ile 0,30 g/cm³ arasında değişmektedir. Mevcut çalışmada sonuçlar daha yüksek olup bu farklılığın püskürtülerek kurutma gibi aglomerasyon işlemlerinin yığın yoğunluğunu düşürücü etkisinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

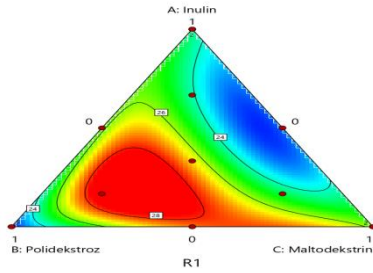
Tozun akışkanlığının ve yapışkanlığının sınıflandırılması sırasıyla CI ve HO değerlerine göre yapılmıştır. CI değeri 20-35 orta düzey akışkanlığı göstermektedir. Benzer şekilde hausner oranı 1,19-1,25 değerleri arasında ise orta düzeyde yapışkanlık anlamına gelmektedir. Bu sınıflandırmaya dayanarak mevcut çalışmada prebiyotik toz kakaolu içeceklerin akabilirliği ve yapışkanlığı orta düzey bulunmuştur. CI değeri orta düzey olan bir toz ürünün HO değerinin de orta düzey olması beklenen bir durumdur. Ayrıca toz ürünlerde farklı prebiyotik bileşenlerin farklı konsantrasyonda kullanılması düzensizliğe sahip aglomeralar, partiküller arası bir kenetlenmeye neden olmuş olabileceği (Johansen Schæfer, 2001) ve ürünün akışkanlık davranışını olumsuz yönde etkilediği düşünülmektedir. Toz içeceklerin inülin, polidekstroz ve maltodekstrin oranlarının önemli olduğunun belirlendiği karışım dizaynıyla elde edilen model ile tahmin etmek için kütle yoğunluğu ve Carr indeks değerleri ile ilişkileri belirlemek için kurulan kurulan Eşitlik (10) ve Eşitlik (11)'de gösterildiği gibi bulunmuştur.

$$\text{Kütle Yoğunluğu} = 0,6068X_1 + 0,5799X_2 + 0,6123X_3 + 0,0737X_1X_2 - 0,0520X_1X_3 + 0,0666X_2X_3 \quad (10)$$

$$\text{CI} = 24,36X_1 + 25,51X_2 + 25,79X_3 + 9,13X_1X_2 - 8,08X_1X_3 + 13,70X_2X_3 - 93,25X_1^2X_2X_3 + 312,83X_1X_2^2X_3 - 153,55X_1X_2X_3^2 \quad (11)$$



Şekil 5. İnülin, polidekstroz ve maltodekstrin karışım oranlarının toz içeceklerin kütle yoğunluğu üzerindeki etkisi (The effect of mixing ratios of inulin, polydextrose and maltodextrin on the bulk density of powdered beverages)



Şekil 6. İnülin, polidekstroz ve maltodekstrin karışım oranlarının toz içeceklerin CI grafiği (Carr Index graph of the mixing ratios of inulin, polydextrose and maltodextrin for powdered beverages)

3.4. Kütle Yoğunluğu ve CI Parametrelerine Dayalı Sprebiyotik Kombinasyonunun Optimizasyonu

Amacımız, ürünün prebiyotik düzeylerinin optimizasyonu için yanıt olarak çözünürlük ve suda tutma kapasitesi sonuçları esas alınmış olup, bu parametrede maksimum düzeye ulaşmak için ürün bileşimi optimize edilmiştir. Her üç bağımsız değişken içinde optimizasyon sonucunda belirlenen dizayn noktalarına ait istenile bilirlik değeri (desirability) 0.87 olup; dizayn noktaları ise inülin 0,294, polidekstroz 0,537 ve maltodekstrin 0,168 olarak tespit edilmiştir. Bu değerler formülasyonda kullanım düzeyine göre hesaplandığında ise sırasıyla inülin ve polidekstroz için 6,762 ve 12,351 gr iken maltodekstrin içinse 3,875gr olarak tespit edilmiştir.

4. Sonuç ve Öneriler (Conclusion and Suggestions)

Bu çalışmada benimsenen yaklaşım prebiyotik bileşenlerin toz kakaolu içeceğin brix, su tutma kapasitesi, ıslanma süresi ve kütle yoğunluğu kalite parametreleri üzerindeki etkisini değerlendirmektir. Bu çalışmada, içecek formülasyonunda maltodekstrinin ve polidekstrozun çözünürlüğü yüksektir. Toz içecek örneklerinde inülin ve maltodekstrin oranlarının artışıyla ıslanma süresinde artış tespit edilmiştir. Kabul edilebilir bir endüstriyel ürün carr indeks ve hausner oranı aralığında kalan, iyi çözünürlüğe ve su tutma kapasitesine sahip ürün üretimi sağladık. Prebiyotiklerin optimum oranlarda kullanımı, ürünün fiziksel özelliklerinin sınırlarının belirlenmesiyle sonuçlanmıştır. Bu çalışmadaki bulgular, kütle yoğunluğu, carr indeksi ve hausner oran özelliklerini geliştirmek için toz içecek üretim endüstrilerinde potansiyel olarak kullanılabilir.

Teşekkür (Acknowledgement)

Amasya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoteknoloji Anabilim Dalı'nda Şirin OBA İLTER danışmanlığında yürütülen Osman Yılmaz'ın 2021 yılında tamamlanan Yüksek Lisans Tezi' nin bir kısmından oluşmaktadır. Bu çalışma Amasya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından FMB-BAP 19-0425 nolu proje kapsamında desteklenmiştir ve projeye sağladığı destek için Amasya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü' ne teşekkürlerimizi sunarız.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

Kaynaklar(References)

- Bitaraf, S., Abbasi, S., & Hamidi, Z., 2013. Production of low-energy prebiotic dark chocolate using inulin, polydextrose, and maltodextrin. *Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology*, 8(1), 49-62.
- Bordiga, M., Locatelli, M., Travaglia, F., Coisson, J. D., Mazza, G., & Arlorio, M., 2015. Evaluation of the effect of processing on cocoa polyphenols: antiradical activity, anthocyanins and procyanidins profiling from raw beans to chocolate. *International journal of food science & technology*, 50(3), 840-848.
- Cidell, J. L., & Alberts, H. C., 2006. Constructing quality: The multinational histories of chocolate. *Geoforum*, 37(6), 999-1007.
- Da Silva Lannes SC, Medeiros ML. 2008. Rheological properties of chocolate drink from cupuassu. *Int J Food Eng* 4(1):1-11
- Daini, R., Wenderoth, P., & Smith, S., 2003. Visual orientation illusions: Global mechanisms involved in hierarchical effects and frames of reference. *Perception & psychophysics*, 65(5), 770-778.
- Dogan, M., Toker, O. S., Aktar, T., & Goksel, M., 2013. Optimization of gum combination in prebiotic instant hot chocolate beverage model system in terms of rheological aspect: mixture design approach. *Food and Bioprocess Technology*, 6(3), 783-794.

- Dogan, M., Aktar, T., Toker, O. S., & Tatlisu, N. B., 2015. Combination of the simple additive (saw) approach and mixture design to determine optimum cocoa combination of the hot chocolate beverage. *International Journal of Food Properties*, 18(8), 1677-1692.
- Donadini, G., Fumi, M. D., & Lambri, M., 2012. The hedonic response to chocolate and beverage pairing: A preliminary study. *Food Research International*, 48(2), 703-711.
- Laguna, L., Fiszman, S., Puerta, P., Chaya, C., & Tárrega, A., 2020. The impact of COVID-19 lockdown on food priorities. Results from a preliminary study using social media and an online survey with Spanish consumers. *Food quality and preference*, 86, 104028.
- Marcotte, M., Hoshahili, A. R. T., & Ramaswamy, H. S., 2001. Rheological properties of selected hydrocolloids as a function of concentration and temperature. *Food Research International*, 34(8), 695-703.
- Mazo Rivas, J. C., Dietze, M., Zahn, S., Schneider, Y., & Rohm, H., 2018. Diversity of sensory profiles and physicochemical characteristics of commercial hot chocolate drinks from cocoa powders and block chocolates. *European Food Research and Technology*, 244(8), 1407-1414.
- Mellor, D. D., Amund, D., Georgousopoulou, E., & Naumovski, N., 2018. Sugar and cocoa: sweet synergy or bitter antagonisms. *Formulating cocoa and chocolate products for health: a narrative review. International Journal of Food Science & Technology*, 53(1), 33-42.
- Ostrowska-Ligeża, E., & Lenart, A., 2015. Influence of water activity on the compressibility and mechanical properties of cocoa products. *LWT-Food Science and Technology*, 60(2), 1054-1060.
- Pimentel, T. C., de Assis, B. B. T., dos Santos Rocha, C., Marcolino, V. A., Rosset, M., & Magnani, M., 2022. Prebiotics in non-dairy products: Technological and physiological functionality, challenges, and perspectives. *Food Bioscience*, 101585.
- Reimer, R. A., Soto-Vaca, A., Nicolucci, A. C., Mayengbam, S., Park, H., Madsen, K. L., ... & Vaughan, E. E., 2020. Effect of chicory inulin-type fructan-containing snack bars on the human gut microbiota in low dietary fiber consumers in a randomized crossover trial. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 111(6), 1286-1296.
- Rosa, M. C., Carmo, M. R., Balthazar, C. F., Guimarães, J. T., Esmerino, E. A., Freitas, M. Q., ... & Cruz, A. G., 2021. Dairy products with prebiotics: An overview of the health benefits, technological and sensory properties. *International Dairy Journal*, 117, 105009.
- Sarfarazi, M., & Mohebbi, M., 2020. An investigation into the crystalline structure, and the rheological, thermal, textural and sensory properties of sugar-free milk chocolate: effect of inulin and maltodextrin. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 14(3), 1568-1581.
- Veena, N., Nath, S., & Arora, S., 2016. Polydextrose as a functional ingredient and its food applications: a review. *Indian Journal of Dairy Science*, 69(3), 239-251.
- Wang, Q. Z., Zhang, M., Teng, W. M., Fu, C. D., Wang, C., Liu, Z. Y., ... & Liu, X. F., 2014. Effects of microalgal diets on juvenile growth and survival of the ark shell, *Scapharca broughtonii*. *Ying Yong Sheng tai xue bao= The Journal of Applied Ecology*, 25(8), 2405-2410.



BORNOVA (İZMİR)'DE BİR İNŞAAT ALANINDA DİNAMİK ZEMİN DAVRANIŞI VE SIVILAŞMA ANALİZLERİ

Yusuf BATUGE¹, Mehmet KURUOĞLU^{2*}, Tuğba ESKİŞAR³

¹ Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, Türkiye

² Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye

³ Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye

Anahtar Kelimeler

*Dinamik Zemin Davranışı,
Yer Tepki Analizi,
Eşdeğer Doğrusal Yöntem,
Sıvılaşma Analizi,
SPT-N.*

Öz

Bu çalışma kapsamında, İzmir ili Bornova ilçesinde bulunan bir inşaat alanında dinamik zemin davranışı analizleri ve sıvılaşma analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu amaç doğrultusunda, öncelikle sahada uygulanan sondajlar ve jeofizik yöntemlerin verileri bir veri bankasında toplanmıştır. Sahanın 3 boyutlu modeli çıkartılmış ve sondajların konumlarına göre sahanın farklı açılardan geoteknik profilleri elde edilmiştir. Sonrasında dinamik zemin davranışı analizleri, frekans tanım alanında bir boyutlu eşdeğer doğrusal analiz yöntemiyle DEEPSOIL programı kullanılarak yapılmıştır. Analizlerde 1977 İzmir, 1992 Doğanbey, 1995 Dinar ve 1999 Kocaeli depremlerine ait ivme-zaman kayıtları kullanılmıştır. Ayrıca, SPT-N değerleriyle sıvılaşma analizleri yapılarak alanın sıvılaşma riski belirlenmiştir. Alan içinde farklı deprem etkileri sonucu 0.4g ve üzeri değerlerde en büyük yatay yüzey ivmelerinin oluşabileceği, sıvılaşma riskinin alan genelinde mevcut olmadığı, ancak lokal olarak sıvılaşma gözlemlenebileceği sonucuna ulaşılmıştır.

DYNAMIC SOIL BEHAVIOR AND LIQUEFACTION ANALYSES AT A CONSTRUCTION SITE IN BORNOVA (IZMIR)

Keywords

*Dynamic Soil Behavior,
Site Response Analysis,
Equivalent Linear Method,
Liquefaction Analysis,
SPT-N.*

Abstract

In this study, 1-D dynamic site response and liquefaction analyses have been performed for a site in Bornova district of Izmir. For this purpose, the soil properties derived from boreholes and the results of geophysical measurements were collected in a database. A 3-D model of the site was created and geotechnical profiles of the site were inspected via different cross sections considering the locations of the boreholes. Then, dynamic site response analyses were performed by using DEEPSOIL program applying the 1-D equivalent linear analysis method in the frequency domain. In the analyses, acceleration-time records of 1977 Izmir, 1992 Doğanbey, 1995 Dinar and 1999 Kocaeli earthquakes were used. Besides, liquefaction analyses were performed with SPT-N values and the liquefaction potential was evaluated. As a result of the application of different earthquake excitations in the area, it was concluded that the peak ground acceleration values may occur at values of 0.4g and above, and the risk of liquefaction is not valid for the total area, but some locations in the area may be susceptible to liquefaction.

Alıntı / Cite

Batuge, Y., Kuruoğlu, M., Eskişar, T., (2023). Bornova (İzmir)'de Bir İnşaat Alanında Dinamik Zemin Davranışı ve Sıvılaşma Analizleri, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(3), 1066-1085.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

Y. Batuge, 0000-0002-8060-6664
M. Kuruoğlu, 0000-0001-6680-5408
T. Eskişar, 0000-0002-0269-2149

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	07.06.2023
Revizyon Tarihi / Revision Date	10.06.2023
Kabul Tarihi / Accepted Date	22.06.2023
Yayın Tarihi / Published Date	28.09.2023

* İlgili yazar / Corresponding author: mehmet.kuruoglu@deu.edu.tr, +90-232-301-7071

DYNAMIC SOIL BEHAVIOR AND LIQUEFACTION ANALYSES AT A CONSTRUCTION SITE IN BORNOVA (IZMIR)

Yusuf Batuge¹, Mehmet Kuruoğlu^{2†}, Tuğba Eskişar³

¹ Dokuz Eylül University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Izmir, Türkiye

² Dokuz Eylül University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Izmir, Türkiye

³ Ege University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Izmir, Türkiye

Highlights

- 3-D soil model and cross sections of the site are constituted.
- An alternative V_s -SPT- N_{30} relationship is proposed for the site.
- The dynamic site response analysis is performed with DEEPSOIL.
- Distribution of PGA values is mapped and liquefaction potential of the site is evaluated.

Graphical Abstract

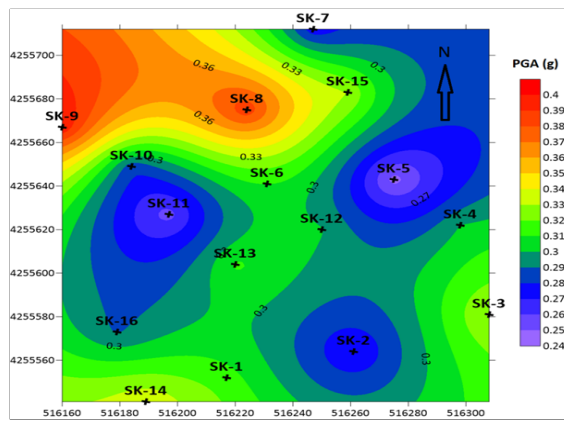


Figure. 1999 Kocaeli Depremi için alandaki PGA dağılımını gösteren örnek bir harita
(An exemplary map of the PGA distribution of the site for 1999 Kocaeli Earthquake)

Purpose and Scope

The site response and the liquefaction potential of a site was determined according to the Turkish Building Earthquake Code, by using the data obtained from soil boreholes, field and laboratory test results in the investigated area in Bornova District of the city of Izmir.

Design/methodology/approach

A 3-D soil model of the site was created by using the field and laboratory test data. Critical cross sections were determined. V_s -SPT- N_{30} correlation was obtained for the site. Dynamic site response analyses were performed by using DEEPSOIL and the results were gathered to create PGA and PSA maps of the site. The liquefaction potential of the site was evaluated. This study showed that the dynamic soil parameters could alternate within a short distance in the site and the design of critical locations in the site should be investigated extensively.

Findings

Under the influence of the 1999 Kocaeli earthquake, PGA values ranged from 0.24 g to 0.4 g, and PSA values ranged between 1.05 g and 1.8 g. Some locations in the investigated site were susceptible to liquefaction.

Originality

Results of the site-specific dynamic site response and liquefaction analyses of the soils were presented. An alternative V_s -SPT- N_{30} correlation was proposed.

[†] Corresponding author: mehmet.kuruoglu@deu.edu.tr, +90-232-301-7071

1. Giriş (Introduction)

İzmir Körfezi'nin kıyı kesimleri, deprem üretebilecek fayların yoğun ve sismik aktivitenin yüksek olduğu bir bölge içerisinde yer almaktadır. Yerel zemin koşullarının genellikle suya doygun alüvyondan ibaret olduğu kıyı kesiminde, deprem hareketinin etkisini büyütebilecek zemin özelliğine sahip sahaların varlığı, sahaya özel dinamik analizlerin yapılmasını gerektirmektedir. Suya doygun alüvyon zeminlerde, yüzeyden itibaren ilk 20.0 metre derinlikte yer alan gevşek kum ve silt grubu zeminler için, zeminin sıvılaşma potansiyelinin incelenmesi büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmanın amacı, sismik olarak aktif bir yerleşim alanı olan İzmir ilinin Bornova ilçesinde yer alan ve bir yüksek yapının inşa edildiği sahada, dinamik zemin davranışı ve sıvılaşma analizleri yaparak, seçilen sahanın farklı deprem hareketleri altındaki dinamik davranışını analiz etmektir. Bu amaçla, öncelikle, sahanın zemin özellikleri belirlenmiş, zeminin üç boyutlu modeli kurulmuş ve kesitler alınarak, sondajlarla belirlenemeyen kısımların hangi tür zemin tabakalarından oluştuğu tahmin edilmiştir. Bu tahmin yapılırken, iki sondaj konumu arasındaki zemin özellikleri, noktadan noktaya korelasyon yöntemi uygulanarak belirlenmiştir. Sahaya özgü hazırlanan veriler detaylı bir şekilde incelenerek, saha içinde ölçülen kayma dalgası hızları ile SPT-N darbe sayıları arasındaki ilişki araştırılmıştır. Ardından her sondaj konumunda eşdeğer doğrusal yöntem ile dinamik zemin davranışı analizleri yapılmıştır. Saha içinde birkaç sondaj konumunda sıvılaşabilir zemin özelliklerine sahip ardışık tabakalar tespit edilerek, bu tabakaların sıvılaşma potansiyeli incelenmiştir. Deprem hareketlerinin oluşturduğu en büyük zemin yüzeyi ivmeleri ve en büyük zemin yüzeyi spektral ivmeleri "kriging" yöntemi ile işlenerek sahanın her bir deprem kaydı için haritalar oluşturulmuş ve risk arz eden yerler saptanmıştır.

2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

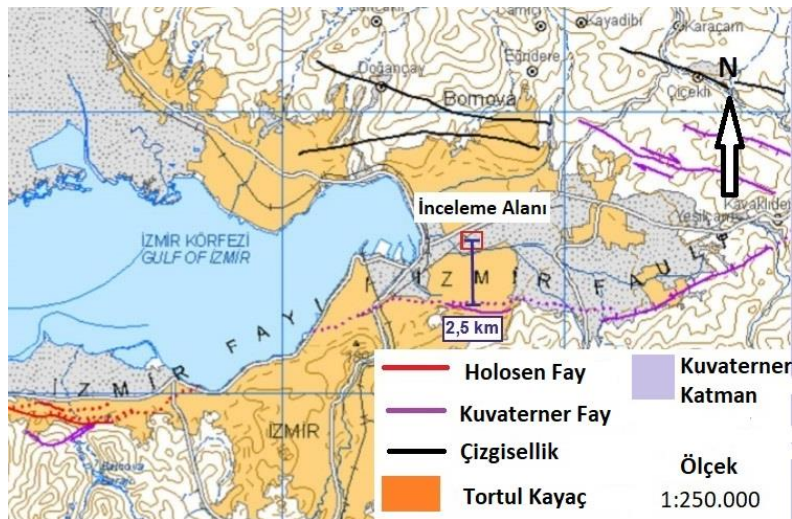
İzmir Körfezi kuzey kıyı bölgesi zeminleri daha önceden yapılan çalışmalarda inceleme alanı olarak alınmış, bölge zeminlerinin dinamik davranışı, bir boyutlu dinamik yer tepki analizi yöntemi uygulanarak ayrıntılı incelenmiştir (Kuruoğlu, 2004, Eskişar, 2008, Eskişar vd., 2014a ve 2014b, Kuruoğlu ve Eskişar, 2015, Edinçliler ve Çalikoğlu, 2018). Çalışmalarda, öncelikle zemin özelliklerinin bir arada toplandığı geoteknik veritabanı oluşturulmuştur. Dinamik zemin davranışı analizleri, bir boyutlu eşdeğer doğrusal analiz yöntemi uygulanarak ve EERA programı kullanılarak yapılmıştır. 1977 İzmir Depremi (M=5.3), 2003 Urla Depremi (M=5.6) ve 2005 Urla Depremi (M=5.9)'nin ivme kayıtları ve bu depremlerin senaryo depremine dönüştürülmesi amacıyla, ivme zaman kayıtlarının frekans içeriği sabit tutularak büyüklüğü M=6.5 olacak şekilde düzenlenerek kullanılmıştır. Dinamik analizler sonucunda en büyük zemin yüzeyi ivmesi, en büyük taban kayası ivmesi, en büyük ivme oranı, en büyük zemin yüzeyi spektral ivmesi, en büyük taban kayası spektral ivmesi ve en büyük spektral ivme oranı değerleri belirlenmiştir. Sıvılaşma analizi için 4 farklı yöntem kullanılarak sıvılaşma potansiyeli haritaları çıkartılmıştır. Sonuç olarak, İzmir körfezi kuzey kıyı bölgesinde yerel zemin özellikleri çıkartılmış, bölgenin sıvılaşma potansiyeli ortaya konulmuştur. Çalışmalarda sunulan ivme ve spektral ivme haritalarında yer alan bazı konumlarda mevcut yapıların yeniden değerlendirilmesi gerekebileceğini ve yerel olarak üretilen elastik tasarım spektrumlarına ait parametrelerin yeniden düzenlenebileceği belirtilmiştir (Eskişar vd., 2014b, Kuruoğlu ve Eskişar, 2015). Bu çalışmalardan bir kısmı, zengin verileri ile İzmir'in Körfezi'nin kuzey kıyılarında yer alan suya doygun, kalın alüvyon zemin tabakaları hakkında bilgi sağlamak için bir mikrobölgeleme çalışması niteliğindedir (Kuruoğlu, 2004, Eskişar, 2008, Eskişar vd., 2014a). 2020 Samos Depremi (M=6.6), çalışma alanına yaklaşık 70 km uzaklıkta meydana gelmiş olmasına rağmen, yüksek zemin büyütmeleri nedeniyle alüvyon zeminde inşa edilen 7-10 katlı yapılarda (Manavkuyu-Bayraklı bölgesinde) hasarlara neden olmuş, 8 yapı yıkılmış ve 116 can kaybı yaşanmıştır (Çetin vd., 2022a, Çetin vd., 2022b, Yakut vd., 2022). Kaya sahalarda da ivme büyütmeleri saptanmıştır ve bu durum, İzmir zeminlerinin dinamik davranışının önemli bir karakteristiği olarak ortaya çıkmıştır (Çetin vd., 2022a). Manavkuyu bölgesindeki yumuşak ve gevşek zemin koşulları, zemin büyütmesini arttıran bir faktör oluşturmuş, 0.6-1.5 s periyot aralığında kalan yapılar (genellikle 7-10 katlı), büyük deprem yüklerine maruz kalmışlar, 30 yıllık ve daha eski yapılar, yetersiz mühendislik hizmeti alma, dayanımı yetersiz malzeme kullanımı, tasarım ve uygulama hataları nedeniyle ağır hasar almışlardır (Yakut vd., 2022).

Kale (2008), çalışma alanı olarak İstanbul İli Zeytinburnu İlçesi'nde yer alan 3 adet enkesit üzerinde deprem sırasında oluşacak yüzey hareketlerinin değişimini belirlemek için bir ve iki boyutlu dinamik davranış analizleri yaparak, analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. Bozkurt (2010) tarafından, İzmir Körfezi güney kıyı bölgesi zeminlerinin dinamik zemin davranışlarını araştırılmıştır. Çalışmada, bir boyutlu dinamik yer tepki analizi yöntemi uygulanmış ve EERA programı kullanılmıştır. Eşdeğer doğrusal model ile İzmir yöresindeki fay sistemlerinde farklı deprem senaryoları için zemin tepki analizleri yapılmıştır. Nar (2016) tarafından, 1999 Gölcük depremi sonucu oluşan çökmeler, yanal yayılmalar, sıvılaşma kaynaklı zemin hasarları ile zemin büyütmesi, üst yapı hasarları belirlenmiş ve tepki spektrumlarının elde edilebilmesi amacıyla bir boyutlu dinamik zemin davranışı analizleri yapılmıştır. Edinçliler ve Çalikoğlu (2018), İzmir ilinin Karşıyaka ve Çiğli

ilçelerinden alınan birer adet sondaj uygulamasından çıkarılan zemin profili için sismik davranış analizini gerçekleştirmişlerdir. Deprem ivme kayıtları olarak 2014 Gökçeada depremi ($M=6.5$) ve 2017 Bodrum depremi ($M=6.5$) kullanılmıştır. Mert (2018) tarafından, Eskişehir ili Çifteler İlçesi'nde yer alan sıvılaştırılabilir özellikteki zeminlerden oluşan ve sondaj verileri bulunan 18 adet konumun DEEPSOIL programında frekans tanım alanında eşdeğer doğrusal yöntem ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan yöntem ile dinamik zemin davranışı analizleri ve sıvılaşma analizleri gerçekleştirilmiştir. Ceren ve Karakan (2019), Kahramanmaraş ilinde dinamik zemin davranışı değerlendirmesi yapmıştır. Yüksek kil içeriğine sahip Üngüt Mahallesi zemininin DEEPSOIL programı yardımı ile frekans tanım alanında doğrusal ve eşdeğer doğrusal, zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analizler yapılmış, zeminin dinamik davranışı incelenmiştir. 54 adet sondaj kuyusu üzerinde yapılan analizlerde, 1999 Kocaeli ($M_w=7.4$) ve Northridge ($M_w=6.7$) depremlerine ait ivme kayıtları kullanılmıştır.

3. İnceleme Alanının Tanımlanması (Identification of the Investigated Area)

İnceleme alanı, İzmir ili Bornova ilçesindeki 2610 m²'lik alana sahip bir parsel içerisinde yer almaktadır. Alana 5 bloktan oluşan bir yapı topluluğu inşa edilmiştir. Yapıların bina yükseklik sınıfı BYS-6'dır, bina kullanım sınıfı BKS-3 ve bina önem katsayısı $I=1.0$ 'dir (TBDY, 2018). Binalar, sıg temel niteliğinde olan radye temel üzerine inşa edilmiştir. İnceleme alanının harita üzerindeki konumu ve en yakınındaki İzmir fay hattına uzaklığı, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü'nün (MTA) jeoloji haritasında gösterilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. İnceleme alanının konumu ve İzmir Fayı'na yaklaşık mesafesi (Location of the investigated area and its distance to the İzmir Fault)

Zemin etüd raporundan (Ege Temel Sondajcılık, 2015) elde edilen bilgilere göre, çalışma alanındaki zemin türü alüvyondur. Çoğunlukla killi, siltli, kumlu ve az miktar çakıllı bir profil sergilemektedir. Yer altı su seviyesi 2.00 ile 4.55 m arasında değişmektedir. Zemin yatak katsayısı 15000-30000 kN/m³, zemin büyütmesi 2.4-2.7 aralığında, zemin hâkim titreşim periyodu ise 0.6 s değerinde belirlenmiştir. Zemin sınıfı TBDY (2018)'e göre ZE olarak değerlendirilmiştir.

Geoteknik çalışmalar kapsamında, 2015 yılında bölgede derinlikleri 30.45 m ile 50.45 m arasında değişen 16 adet sondaj kuyusu açılmıştır. Sondajlar sırasında zeminin geoteknik özelliklerini saptamak amacıyla Standart Penetrasyon (SPT) deneyleri yapılmıştır. Sondajlar sırasında örselenmiş, örselenmemiş (UD) ve karot örnekleri alınmıştır. Bu örnekler üzerinde doğal su içeriği (ω_n) ve doğal ve kuru birim hacim ağırlık değerleri belirlenmiş, USCS zemin sınıflarını saptamak için yıkamalı elek analizi ve kıvam limitleri deneyleri yapılmıştır. Jeofizik çalışmalar kapsamında 7 Serim aktif kaynaklı yüzey dalgası (MASW), 7 Serim Sismik Kırılma ölçümü, 2 noktada ise mikrotremor ölçümleri alınmıştır. Arazi ve laboratuvar deneylerinin sonuçları dijital olarak işlenerek bir veri bankasında toplanmıştır (Tablo 1).

Tablo 1. SK-1 sondaj kuyusuna ait veriler (Geotechnical data belongs to the SK-1 borehole)

ÖRNEK No.	DERİNLİK (m)	ω_n (%)	W _L (%)	W _p (%)	I _p (%)	-No. 10 (%)	-No. 200 (%)	USCS Zemin Sınıfı	SPT-N ₃₀
SPT-1	3.00-3.45							DOLGU	4
SPT-2	4.50-4.95	33.1	47	21	26	2	85.2	CL	10
SPT-3	6.00-6.45							CL	9
SPT-4	9.00-9.45	21.3	38	17	21	3.7	77.9	CL	10
SPT-5	10.50-10.95							CL	12
SPT-6	13.50-13.95	15.5	23	14	9	3.1	49.5	SC	39
SPT-7	16.50-16.95	10.1	22	15	7	37.4	20.3	SC	30
SPT-8	19.50-19.95	19.7	26	14	12	17.3	47.6	SC	28
SPT-9	21.00-21.45	24.5	39	18	21	19.5	59.3	CL	26
SPT-10	24.00-24.45	34.2	54	22	32	1	86.8	CH	21
SPT-11	27.00-27.45							CH	21
SPT-12	30.00-30.45							CH	22

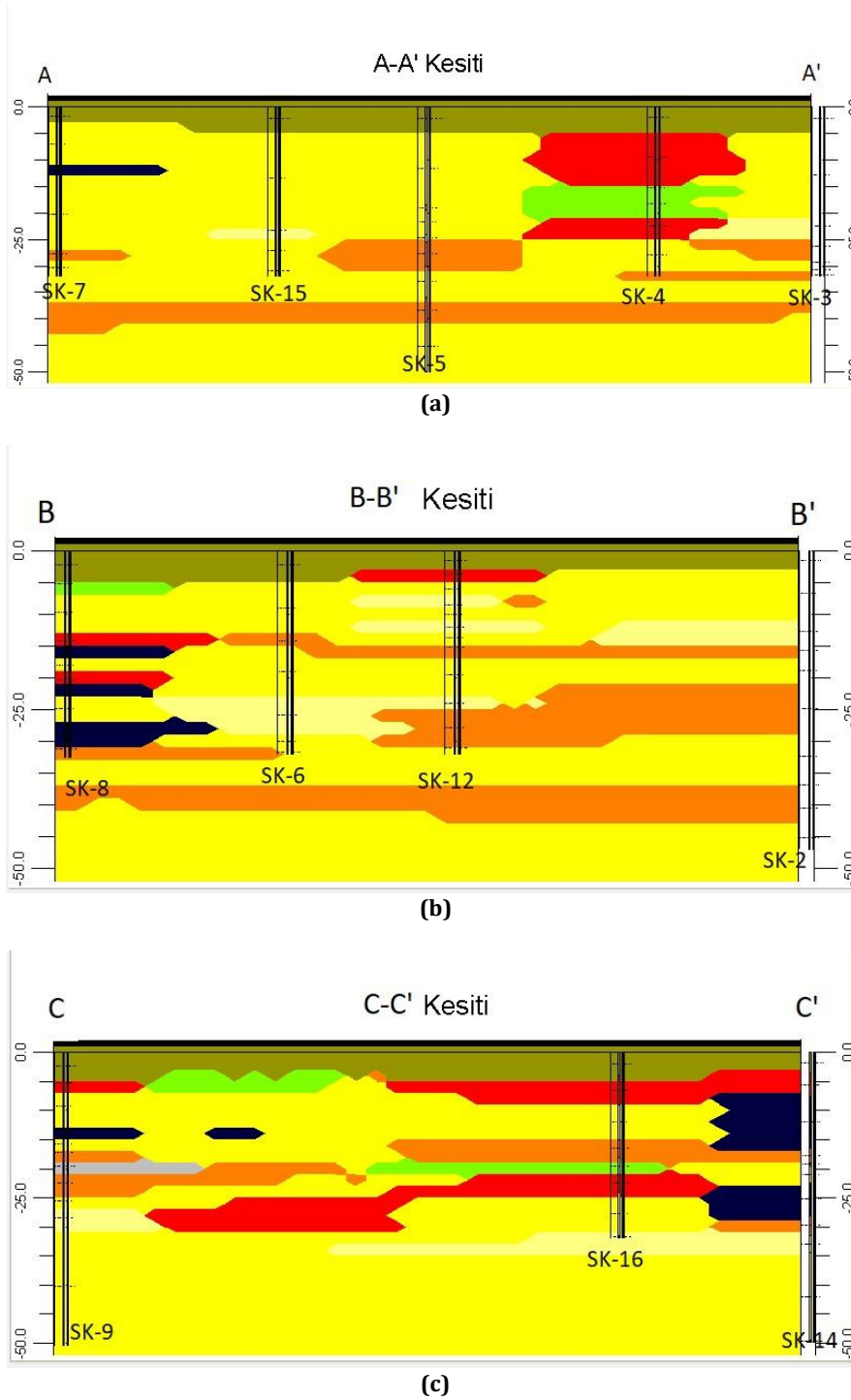
Sondaj kuyularının ve jeofizik ölçümlerin (MASW) çalışma alanındaki konumları Şekil 2 ve Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 2. İnceleme alanındaki sondaj konumları (Locations of the boreholes at the investigated area)



Şekil 3. İnceleme alanındaki jeofizik ölçüm konumları (Locations of the geophysical measurement at the investigated area)



Şekil 6. (a) İnceleme alanından alınan A-A' kesiti, (b) inceleme alanından alınan B-B' kesiti, (c) inceleme alanından alınan C-C' kesiti ((a) The cross section A-A' taken from the investigated area, (b) the cross section B-B' taken from the investigated area, (c) the cross section C-C' taken from the investigated area)

4. Araştırma Yöntemi (Investigation Method)

4.1. Dinamik Zemin Davranışı Analizi (Dynamic Soil Behavior Analysis)

Dinamik zemin davranışı analizi, bir sahadaki zeminin deprem etkisinde dinamik davranışını incelemek ve tepki spektrumlarını belirlemek amacıyla yapılır. Dinamik analiz sonucunda zemin büyütmesi, zemin hâkim titreşim periyodu, sıvılaşma potansiyeli gibi birçok dinamik zemin parametresi elde edilir. Dinamik zemin davranışı analizinde, deprem kaynağındaki kırılma mekanizması, gerilme dalgalarının yer içinde yayılarak belirli bir sahanın altındaki anakayanın tepesine ulaşması idealize edilerek, yer yüzeyindeki kuvvetli yer hareketi parametreleri, deprem dalgalarının anakaya üzerindeki zemin tabakaları tarafından iletilerek yüzeye ulaşması sırasında oluşan büyütme ve spektral etkiler belirlenir (Kramer, 1996).

Bu çalışmada analiz yöntemi olarak, uygulamada sıkça kullanılan, yüzeyi eğimli olmayan düz sahalar için geliştirilmiş, bir boyutlu eşdeğer doğrusal analiz metodu uygulanmıştır. Bu metodun uygulanması için ise DEEPSOIL programı kullanılmıştır. DEEPSOIL programı ile frekans tanım alanında bir boyutlu doğrusal ve eşdeğer doğrusal analizler ile, zaman tanım alanında doğrusal ve doğrusal olmayan zemin davranışı analizleri yapılabilmektedir (Hashash vd., 2016). DEEPSOIL ile analiz yapılabilmesi için, öncelikle programa zeminlerin birim hacim ağırlıkları, tabaka kalınlıkları, kayma dalgası hızları gibi özelliklerin tanıtılması gerekmektedir. Ardından, uygun görülen depremlerin ivme-zaman kayıtlarıyla analiz yapılabilmektedir. Eşdeğer doğrusal analiz modelinde, kayma modülünün ve sönüm oranının zemin özelliklerine bağlı olarak tekrarlı bir hesaplama metodu uygulanmaktadır. Bu özellikler ayrı noktalarla (Discrete Points), veya doğrusal olmayan modellerden birinin omurga eğrileri (Backbone Curves) oluşturularak, dinamik zemin parametreleri tanımlanabilir.

Bir boyutlu dinamik analizde, tüm zemin sınırlarının yatay olduğu ve zemin tepkisini belirlemek için anakayadan düşey yönde yayılan deprem dalgaları zemin yüzeyine ulaşırken zemin tabakalarının tepkileri gözlemlenir. Eşdeğer doğrusal analiz, frekans tanım alanında ve zaman tanım alanında yapılabilir. Zaman tanım alanında, ölçekleme yöntemi olarak deprem kaydının frekans içeriği değiştirilmeksizin sadece deprem kaydının genliği ile oynanır. Frekans tanım alanındaki ölçekleme yöntemlerinde ise tasarım ivme spektrumuna bir eşlik bulmak için yer hareketi kaydının frekans içeriği değiştirilebilir.

İnceleme alanında sıvılaşma potansiyelini belirlemek için, yüzeyden itibaren ilk 20 m'de sıvılaşma özelliği olmayan kil ve killi zemin tabakalarının sıklıkla yinelenmesi ve sıvılaşmayan zeminlerin sondajların büyük bölümünü oluşturması sebebiyle, bu çalışmada eşdeğer doğrusal analiz modeli ile frekans tanım alanında hesap yapılması uygun görülmüştür. Dinamik zemin davranışı analizlerinde 1977 İzmir (M=5.3), 1992 Doğanbey (M=6.0), 1995 Dinar (M=6.0) ve 1999 Kocaeli (M=7.4) depremlerine ait ivme-zaman kayıtları kullanılmıştır.

4.2. Sıvılaşma Analizi (Liquefaction Analysis)

4.2.1. NCEER Yöntemi (NCEER Method)

Sıvılaşma analizi için yaygın olarak kullanılan ve en pratik yöntem olan basitleştirilmiş sıvılaşma analiz yöntemi, Seed ve Idriss (1971) tarafından önerilmiştir. Yöntem, TBDY (2018)'de sıvılaşma analizi için uygulanması tavsiye edilen bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. SPT-N değerlerini dikkate alarak uygulanan bu yöntem, yıllar içinde farklı araştırmacılar tarafından değiştirilmiştir. Bu değiştirilen yöntemlerden biri olan Youd vd. (2001) yöntemi, zeminin sıvılaşması için gerekli tekrarlı direnç oranının (CRR), depremin oluşturduğu tekrarlı gerilme oranıyla (CSR) karşılaştırılması sonucu zeminin sıvılaşmaya karşı güvenlik faktörünün (FS) belirlenmesi esasına dayanmaktadır.

Tekrarlı gerilme oranının formülü, aşağıdaki Eşitlik (1)'de gösterilmiştir:

$$CSR = 0.65(a_{maks}/g) (\sigma_{v0} / \sigma'_{v0}) r_d \quad (1)$$

Burada; a_{maks} deprem sırasında zemin yüzeyinde oluşan maksimum yatay yer ivmesi, g yerçekimi ivmesi, σ_{v0} ve σ'_{v0} toplam ve efektif yüzey gerilmeleri ve r_d gerilme azaltma katsayısıdır.

Gerilme azaltma katsayısı (r_d), Eşitlik (2)'de verilen formülle bulunmaktadır. Formüldeki z değeri derinliği (m) göstermektedir.

$$r_d = \frac{(1.000 - 0.4113z^{0.5} + 0.04052z + 0.001753z^{1.5})}{(1.000 - 0.4177z^{0.5} + 0.05729z - 0.006205z^{1.5} + 0.001210z^2)} \quad (2)$$

Tekrarlı direnç oranı moment büyüklüğü 7.5 olan depreme göre düzenlenmiştir. Buna göre kum zeminlerde tekrarlı direnç oranı hesaplanırken (CRR_{M7.5}) formülü kullanılmıştır (Eşitlik 3). Formüldeki $N_{1(60)CS}$ değeri temiz kum düzeltmesi yapılmış SPT-N değeridir.

$$CRR_{M7.5} = \frac{1}{34 - N_{1(60)CS}} + \frac{N_{1(60)CS}}{135} + \frac{50}{[10N_{1(60)CS} + 45]^2} - \frac{1}{200} \quad (3)$$

Temiz kum düzeltmesi sadece kum zeminlerde uygulanmaktadır. CRR değerlerinin ince dane oranının artması ile artmasının ve bu artışın sebebinin sıvılaşma dayanımının artması veya penetrasyon direncinin azalması nedeniyle olabileceği düşünülmektedir. Bu sebeple, ince dane oranının tekrarlı dayanım oranı üzerindeki etkisini ifade etmek üzere $N_{1(60)CS}$ değerinin bulunması ve kullanılması önerilmiştir (Youd vd, 2001). Bu değer nasıl bulunacağı aşağıda gösterilmiştir (Eşitlik 4).

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

Burada, α ve β değerleri katsayılarıdır. Bu katsayılar ince dane oranına göre, yani No.200 eleğin altında kalan yüzdelik kısma göre belirlenir.

Sıvılaşma güvenlik faktörü (FS) aşağıda verilen Eşitlik (5) ile bulunur.

$$FS = (CRR_{M7.5} / CSR) * MSF \quad (5)$$

Buradaki MSF, büyüklük düzeltme faktörüdür. MSF hesaplaması için kullanılan formül aşağıda Eşitlik (6)'da verilmiştir. (M_w : Deprem moment büyüklüğü).

$$MSF = 10^{2.24} / M_w^{2.56} \quad (6)$$

Bu hesaplamalar sonucunda, TBDY (2018)'e göre FS değerinin 1.1'den küçük olması durumunda tabakanın sıvılaşma riski taşıdığı ifade edilebilmektedir.

4.2.2. Iwasaki vd. (1984) Yöntemi (Iwasaki et al., 1984 Method)

Bu yöntemde, 20 m'ye kadar derinlikler için, zeminin sıvılaşmaya karşı gösterdiği dirence bakılır. Bu yöntem sayesinde bulunacak sıvılaşma potansiyeli indeksi (I_L) sıvılaşmanın derecesini göstermektedir. Yöntem uygulanırken, basitleştirilmiş sıvılaşma analizinden elde edilen güvenlik katsayısı (FS) değerleri kullanılmıştır. Buna göre I_L değeri Eşitlik 7'deki gibi hesaplanmıştır. Bu eşitlikte, $W(Z)$, derinliğe bağlı olarak hesaplanan bir değişkendir. Bulunacak I_L değerinin yorumlanması ise aşağıdaki tablodaki gibidir (Tablo 2).

$$I_L = \int_0^{20} FS * W(Z) dZ \quad (7)$$

Tablo 2. I_L değerine bağlı Sıvılaşma riski (Liquefaction risk according to I_L)

I_L	Risk
$I_L = 0$	Sıvılaşma riski çok düşük
$0 < I_L \leq 5$	Sıvılaşma riski düşük
$5 < I_L \leq 15$	Sıvılaşma riski yüksek
$I_L > 15$	Sıvılaşma riski çok yüksek

4.3. İnceleme Alanına Özel V_S -SPT- N_{30} Korelasyonu (A V_S -SPT- N_{30} Correlation Special for the Investigation Area)

MASW yöntemi, zemin tabakalarının kayma dalgası hızlarının derinlikle değişimini ölçmede yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle V_{S30} , yani ilk 30 m'nin kayma dalgası hızı ölçümünde sağlıklı sonuçlar vermektedir. İnceleme alanında 7 adet serimle yapılan MASW çalışması sonucunda zemin yüzeyinden 30 m derinliğe kadar olan tabakaların kayma dalgası hızı değerleri belirlenmiştir. İnceleme alanında, derinlikleri 30.45 m ile 50.45 m arasında değişen 16 adet sondaj kuyusunun açıldığı ve anakaya derinliğinin 60 m'de olduğu bilinmektedir. Sondaj kuyularının altındaki tahmini zemin tabakalarını belirlemek için de 3 boyutlu zemin modellemesi sonuçları detaylı bir şekilde incelenerek kullanılmıştır. Böylece derinlikleri 60 m olan 16 adet zemin profili oluşturulmuştur. DEEPSOIL programı, ile dinamik zemin davranış analizi gerçekleştirebilmek için, kayma dalgası hızı verilerine ihtiyaç duyulmaktadır. İnceleme alanına özel olarak türetilen V_S -SPT- N_{30} korelasyonu (Eşitlik 8) kullanılarak, 30-60 m derinlikleri arasındaki zemin tabakalarının kayma dalgası hızı değerleri, SPT-N değerlerine bağlı olarak saptanmıştır. Geçmiş çalışmalarla elde edilen V_S -SPT-N korelasyonları da, bu çalışmada dikkate alınmıştır (Tablo 3).

V_S -SPT- N_{30} korelasyonunun geliştirilmesinde kullanılan MASW yöntemi ile ölçülen kayma dalgası hızı değerleri ve SPT-N değerleri Tablo 4'te, türetilen denklem ise Eşitlik (8)'de verilmiştir.

Bu çalışmada, inceleme alanı zeminleri için

$$V_s = 107N^{0.27} \quad (8)$$

korelasyonu elde edilmiştir.

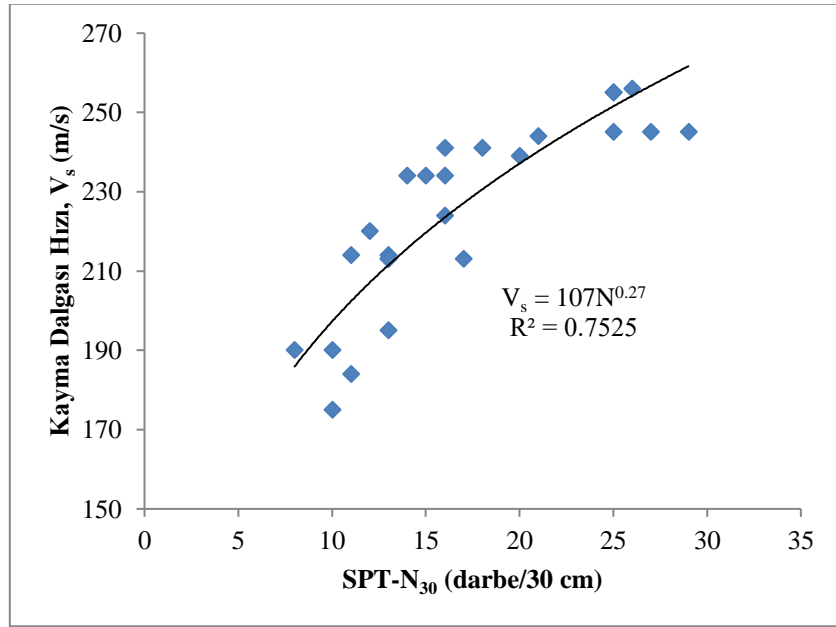
Bu eşitliğin korelasyon katsayısı, $R^2=0.7525$ olarak bulunmuştur (Şekil 7). Bu korelasyon ilişkisinde tüm zemin türleri dikkate alındığından, Eşitlik (8), Athanasopoulos'un (1995) önerisine yakın bulunmuştur (Tablo 3).

Tablo 3. Farklı araştırmacıların zemin türlerine göre Vs-SPT-N korelasyon önerileri (Kirar vd., 2016'dan)
(Vs-SPT-N correlations proposed by various researchers according to the type of soils (from Kirar vd., 2016))

Araştırmacılar	Tüm Zemin Türleri için	Kum Zeminler İçin	Kil Zeminler için
Uma Maheswari vd., (2010)	95.64N ^{0.301}	100.53N ^{0.265}	89.31N ^{0.358}
Ohba ve Toriumi (1970)	84N ^{0.31}	-	-
Ohta ve Goto (1978)	85.35N ^{0.348}	88N ^{0.33}	-
Seed ve Idriss (1981)	61N ^{0.5}	-	-
Hasancebi ve Ulusay (2007)	90N ^{0.309}	90.8N ^{0.319}	97.9N ^{0.269}
İyisan (1996)	51.5N ^{0.516}	-	-
Athanasopoulos (1995)	107.6N ^{0.36}	-	-
Kiku vd., (2001)	68.3N ^{0.292}	-	-
Kirar vd., (2016)	99.5N ^{0.345}	100.3N ^{0.338}	94.4N ^{0.379}

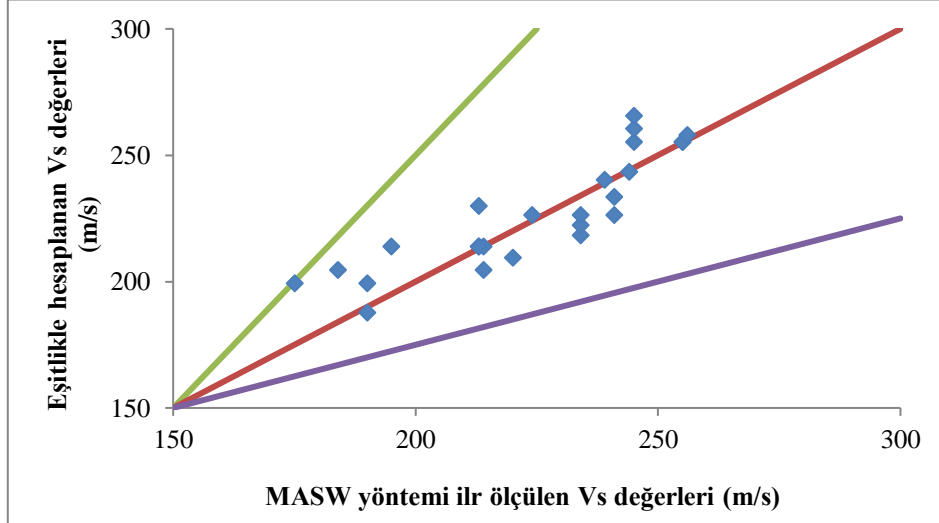
Tablo 4. Vs-SPT-N korelasyonu için seçilen veriler (Selected data for Vs-SPT-N correlation)

Sondaj No.	Ölçülen V_s değerleri (m/sn)	SPT-N	Derinlik (m)
SK-1	175	10	4.5
SK-1	220	12	11.5
SK-1	256	26	22
SK-2	184	11	4.5
SK-2	213	17	17
SK-2	244	21	24
SK-5	234	15	19
SK-5	245	27	24.5
SK-6	234	16	17.5
SK-6	245	29	21
SK-7	213	13	6
SK-7	255	25	14.5
SK-9	213	13	6.5
SK-9	255	25	12
SK-11	224	16	6
SK-11	234	14	15
SK-11	245	25	24
SK-12	195	13	6
SK-12	239	20	11
SK-13	190	8	6
SK-13	214	13	12
SK-13	241	18	25.5
SK-16	190	10	5
SK-16	214	11	17.5
SK-16	241	16	22



Şekil 7. Bu çalışmada elde edilen Vs-SPT-N₃₀ korelasyonu ve korelasyon katsayısı (Vs-SPT-N₃₀ correlation obtained from this study and the coefficient of correlation)

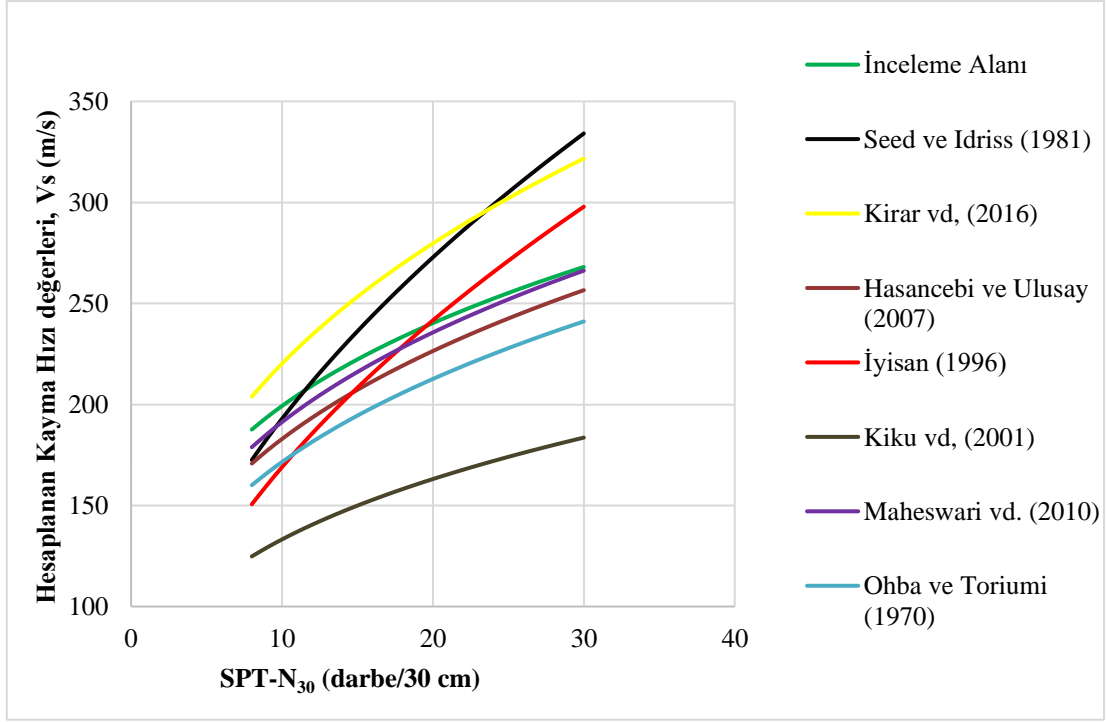
Bulunan korelasyonun kullanılabilirliğini değerlendirmek için bazı kontrollerin yapılması gerekmektedir (Kirar vd., 2016). MASW uygulamasıyla ölçülen kayma dalgası hızı değerleri ile eşitlikten bulunacak kayma dalgası hızı değerlerinin arasındaki farkı inceleyerek, bu farkın kabul edilebilir değerler arasında olduğunu göstermek gerekli olmaktadır. Şekil 8’de, yapılan bu kontrole ilişkin olarak hazırlanan grafik gösterilmektedir. MASW yöntemi ile ölçülen ve eşitlikle hesaplanan değerlerin kabul edilebilir aralığı, Şekil 8’deki yeşil ve mor renkler ile çizilen ve %25 farkı ifade eden üst ve alt sınır doğrularının arasında kalan bölgedeki değerlerin kabul edilebilir olduğu gösterilmiştir (Kirar vd., 2016).



Şekil 8. MASW yöntemi ile ölçülen Vs değerleriyle korelasyondan elde edilen Vs değerlerinin karşılaştırılması (Comparison of Vs values measured from MASW method and Vs values obtained from the correlation)

İnceleme alanı için bu çalışmada Eşitlik 8’den elde edilen korelasyon ile, önceki çalışmalarda tüm zemin türleri için elde edilen ilişkiler karşılaştırılmıştır. Buna göre; bu çalışmada elde edilen korelasyon ilişkisinin Athanasopoulos (1995) ilişkisine yakın sonuç vermesinin yanında, Maheswari vd., (2010) ile Hasançebi ve Ulusay (2007) ilişkileri ile de yakınlık gösterdiği sonucuna varılmıştır (Şekil 9).

Buna göre, zemin profilinde SPT deneyinin yapılabildiği ve SPT-N değeri belirlenebilen, ancak Vs değerleri ölçülemeyen zemin tabakalarının kayma dalgası hızı değerlerinin, bu korelasyon ilişkisinden elde edilebileceği kabul edilmiştir. Bu kayma dalgası hızı değerleri, dinamik zemin davranışı analizlerinde kullanılabilir.



Şekil 9. Bu çalışmada elde edilen korelasyon ile önceki çalışmalarda önerilen ilişkilerin karşılaştırılması (Comparison of the correlation obtained in this study with relationships proposed in the past studies)

5. Analiz Sonuçları (Results of the Analyses)

5.1. Dinamik Yer Tepki Analizi Sonuçları (Results of the Dynamic Site Response Analysis)

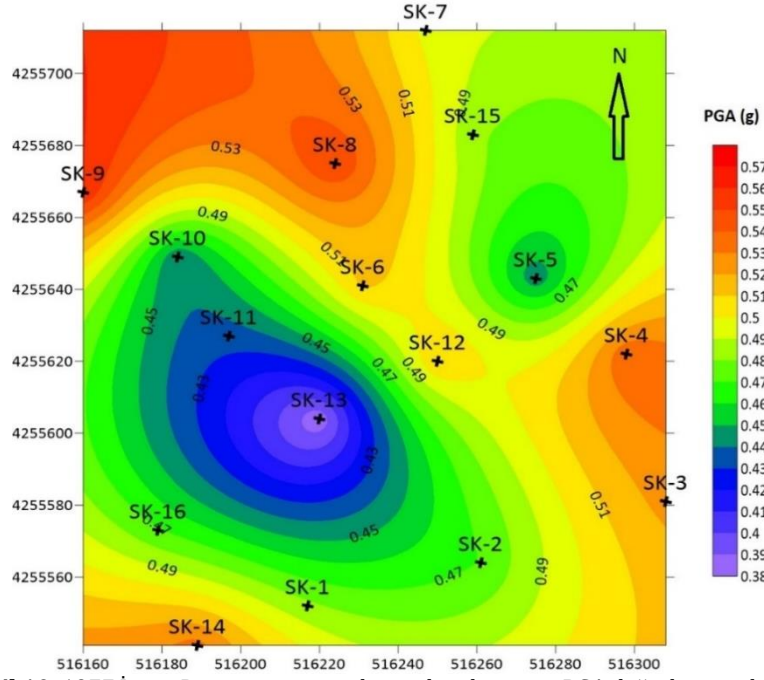
Dinamik yer tepki analizleri için seçilen depremlere ait bilgiler Tablo 5'te sunulmaktadır.

Tablo 5. Analizler için seçilen depremlere ait veriler (Information about the earthquakes selected for the analyses)

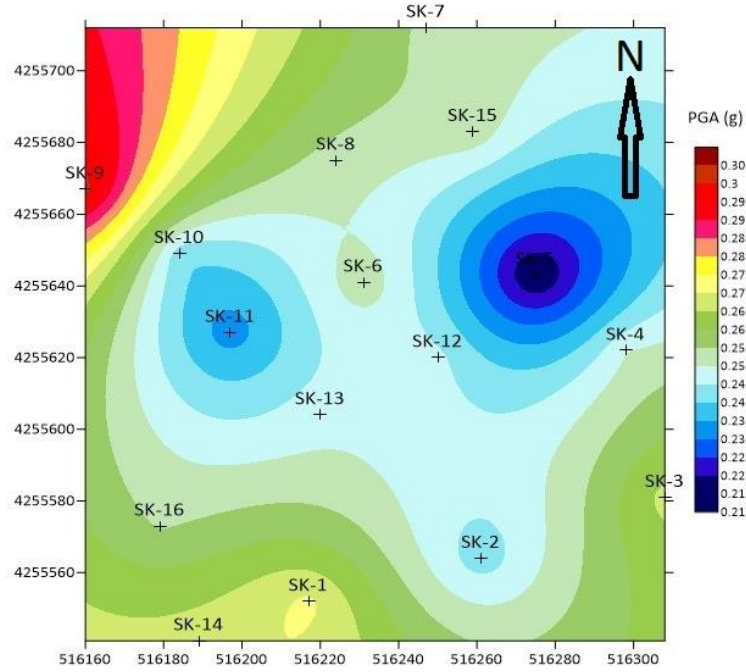
Depremler	Tarihler	Kayıt İstasyonu	Fay Hattı	Fay Mekanizması	Büyükük (M)	PGA (g)
1977 İzmir	16.12.1977	Poligon, İzmir	İzmir	Normal Fay	5.3	0.39
1992 Doğanbey	6.11.1992	Kuşadası, İzmir	Tuzla	Doğrultu atımlı (sağ yönlü)	6.0	0.20
1995 Dinar	1.10.1995	İzmir	Dinar	Normal Fay	6.4	0.20
1999 Kocaeli	17.08.1999	Bornova, İzmir	Kuzey Anadolu	Doğrultu atımlı	7.5	0.20

Bu deprem ivme kayıtları kullanılarak, DEEPSOIL (Hashash vd., 2016) programı ile 16 adet sondaj konumundaki zemin profillerinin bu 4 depremde göstereceği en büyük yer ivmesi değerleri (PGA) ve en büyük spektral ivme değerleri (PSA) ile ivme ve spektral ivme cinsinden zemin büyütmesi değerleri belirlenmiştir. Bu veriler kullanılarak, inceleme alanında bu parametrelerin dağılımı, Surfer V. 18.00 (Surface Mapping System) haritalama programı yardımıyla belirlenmiştir.

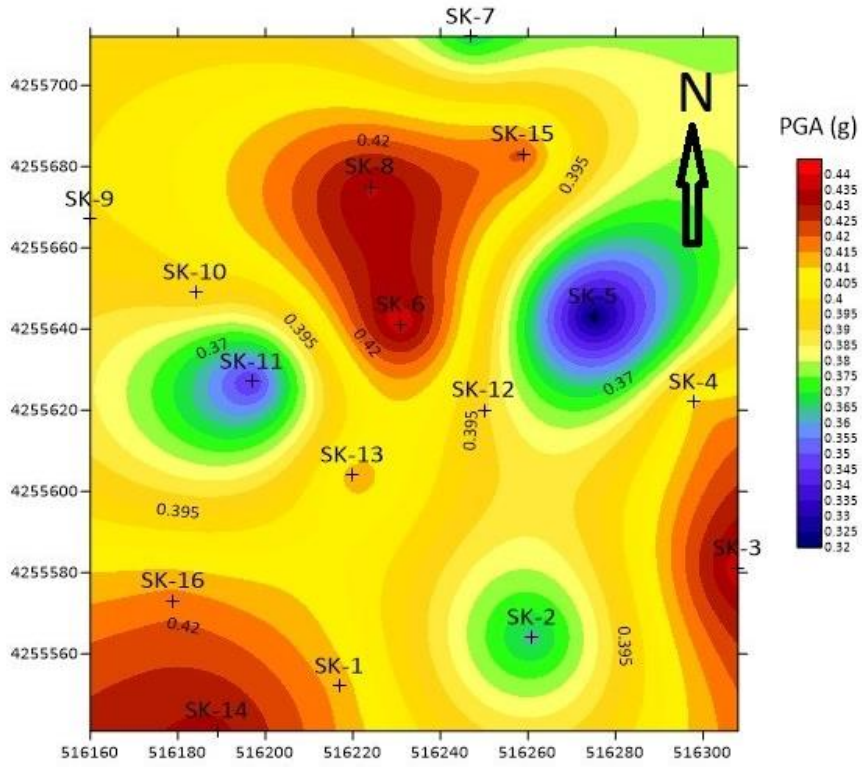
Aşağıdaki haritalarda (Şekil 10-17), dinamik analizi yapılan 4 adet depremin oluşturacağı kuvvetli yer hareketi parametrelerinin alansal dağılımı gösterilmektedir.



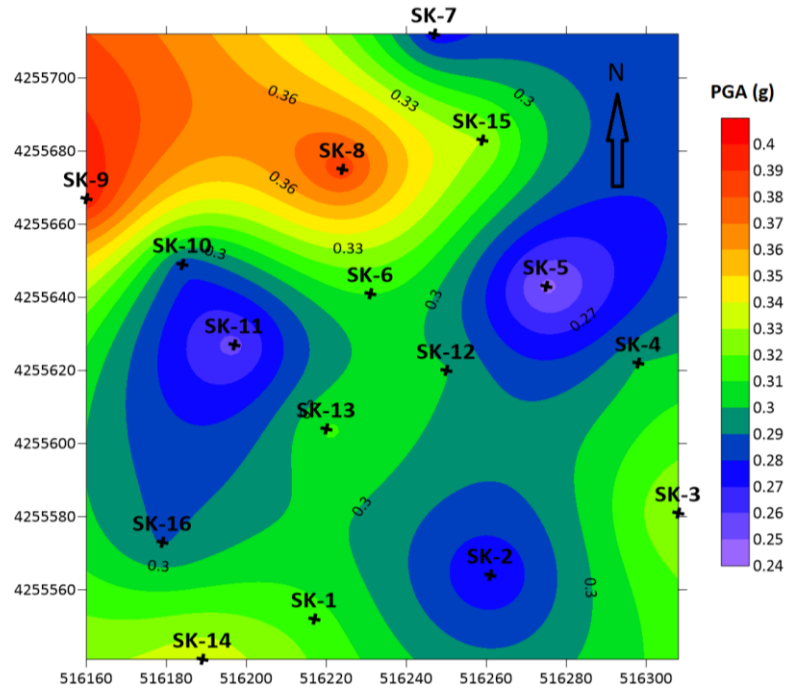
Şekil 10. 1977 İzmir Depremi için inceleme alanı boyunca PGA değerlerinin dağılımı
(Distribution of the PGA values along the investigated area for the 1977 Izmir Earthquake)



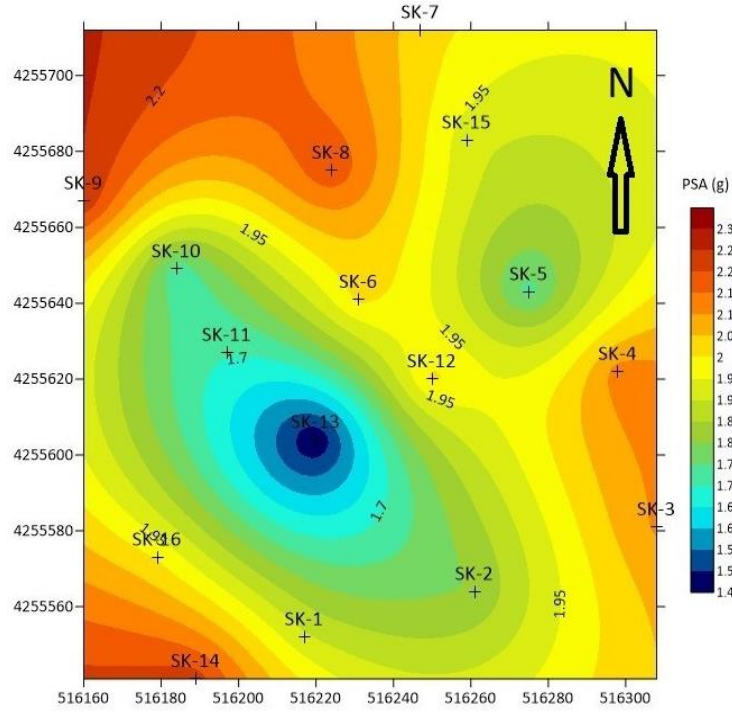
Şekil 11. 1992 Doğanbey Depremi için inceleme alanı boyunca PGA değerlerinin dağılımı
(Distribution of the PGA values along the investigated area for the 1992 Doganbey Earthquake)



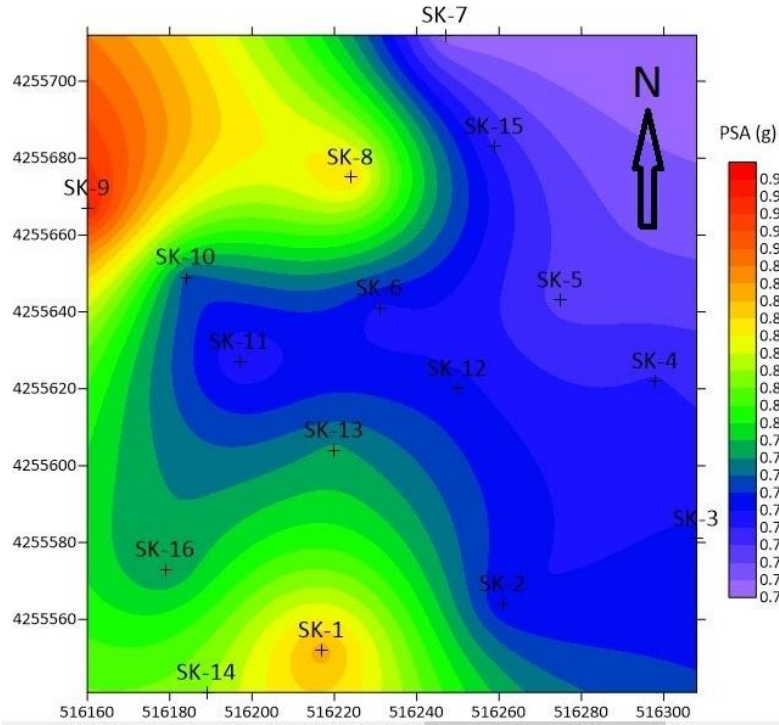
Şekil 12. 1995 Dinar Depremi için inceleme alanı boyunca PGA değerlerinin dağılımı
(Distribution of the PGA values along the investigated area for the 1995 Dinar Earthquake)



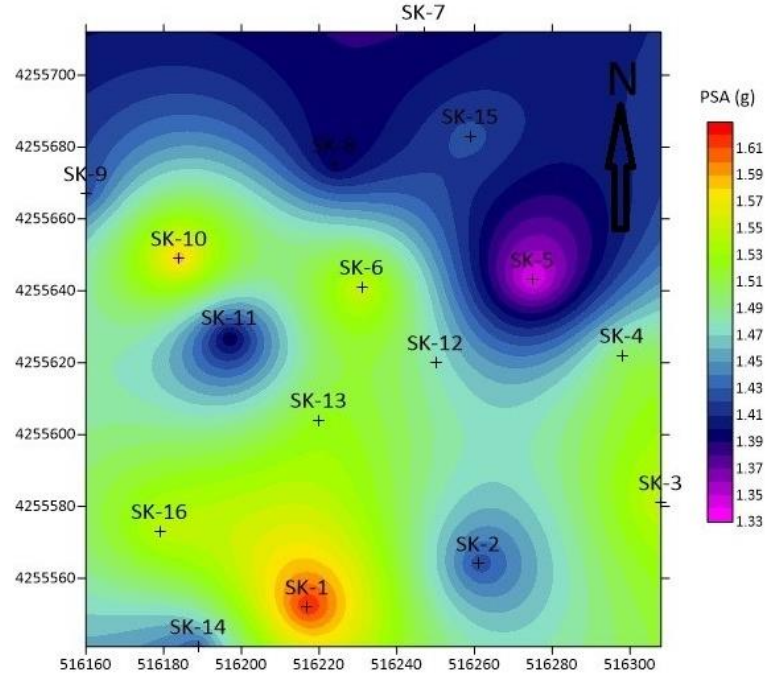
Şekil 13. 1999 Kocaeli Depremi için inceleme alanı boyunca PGA değerlerinin dağılımı
(Distribution of the PGA values along the investigated area for the 1999 Kocaeli Earthquake)



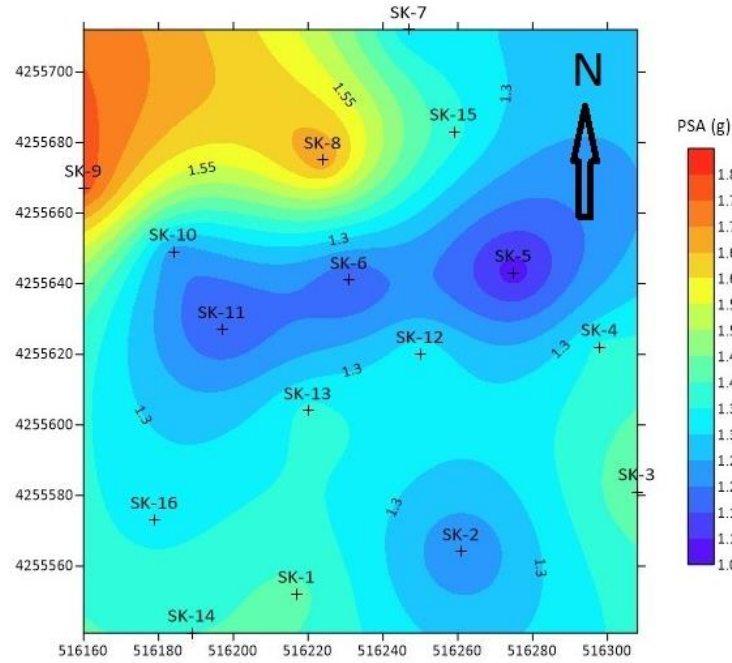
Şekil 14. 1977 İzmir Depremi için inceleme alanı boyunca PSA değerlerinin dağılımı
(Distribution of the PSA values along the investigated area for the 1977 Izmir Earthquake)



Şekil 15. 1992 Doğanbey Depremi için inceleme alanı boyunca PSA değerlerinin dağılımı
(Distribution of the PSA values along the investigated area for the 1992 Doganbey Earthquake)



Şekil 16. 1995 Dinar Depremi için inceleme alanı boyunca PSA değerlerinin dağılımı
(Distribution of the PSA values along the investigated area for the 1995 Dinar Earthquake)



Şekil 17. 1999 Kocaeli Depremi için inceleme alanı boyunca PSA değerlerinin dağılımı
(Distribution of the PSA values along the investigated area for the 1999 Kocaeli Earthquake)

1977 İzmir depremi ile analiz yapıldığında PGA değerleri 0.38 g ile 0.56 g, PSA değerleri ise 1.45 g ile 2.25g aralığında değişim göstermiştir. 1992 Doğanbey depremi etkisinde PGA değerleri 0.21 g ile 0.3 g, PSA değerleri ise 0.7 g ile 0.94 g aralığında değerler almıştır. 1995 Dinar depremi ile analiz yapıldığında PGA değerleri 0.32 g ile 0.44 g, PSA değerleri ise 1.33 g ile 1.66 g aralığında değişim göstermiştir. 1999 Kocaeli depremi etkisinde PGA değerleri 0.24 g ile 0.4 g, PSA değerleri ise 1.05 g ile 1.8 g aralığında değerler almıştır. Bu sonuçlara göre, en yüksek PGA ve PSA değerleri İzmir Fayı'nın inceleme alanına çok yakın olması nedeniyle 1977 İzmir depreminde, en küçük PGA ve PSA değerleri ise yaklaşık 60 km mesafede meydana gelen 1992 Doğanbey depreminde gözlemlenmiştir. 16 sondajdan elde edilen PGA değerleri incelenecek olursa, tüm sondaj loglarında ve tüm deprem kayıtları için alüvyon özellikteki zemin profilleri, anakayadan gelen ivme değerlerini büyütme eğilimi göstermiştir.

Sahada hâkim olan alüvyon zemin, 1977 İzmir depremi için yer ivmesi değerini %16.7, spektral ivme değerini %37.3, 1992 Doğanbey depreminde yer ivmesi değerini %26.5, spektral ivme değerini %24.5, 1995 Dinar depreminde yer ivmesi değerini %99.9, spektral ivme değerini %68.9, 1999 Kocaeli depreminde yer ivmesi değerini %54.4, spektral ivme değerini %66.7 oranında arttırmıştır.

5.2. Sıvılaşma Analizi Sonuçları (Results of the Liquefaction Analysis)

İnceleme alanında, NCEER (Ishihara vd., 2001) ve Iwasaki vd. (1984) sıvılaşma analiz yöntemleriyle ve TBDY (2018)'de önerilen yöntemle analiz yapıldığında, alanda sıvılaşma potansiyelinin mevcut olduğu, yani zemin yüzeyinden itibaren 20 m derinliğe kadar olan bölgede, yer altı su seviyesinin altında yer alan, suya doymuş, gevşek kum, siltli kum, non-plastik silt ve silt-kum karışımlarının oluşturduğu toplam 41 adet zemin tabakası bulunmuştur. Bu zemin tabakalarına, dinamik yer tepki analizlerinde kullanılan dört adet depremin ivme ve moment büyüklükleri değerleri uygulanmıştır.

NCEER (Ishihara vd., 2001) ve TBDY (2018) yöntemlerine göre, en çok sıvılaşabilir zeminlerin olduğu, yani sıvılaşma güvenlik faktörünün 1.1'den küçük çıktığı senaryo, moment büyüklüğünün ($M=7.5$) ve anakaya ivmesinin ($a_{maks}=0.2g$) olduğu 1999 Kocaeli depremi senaryosu olmuştur. Bu senaryoda, 41 adet sıvılaşma potansiyeli bulunan zemin tabakasının 30'u sıvılaşabilir durumda çıkmıştır. 1992 Doğanbey depremi ($M=6.0$) için 8 adet, 1995 Dinar depremi ($M=6.4$) için 14 adet sıvılaşabilir tabaka çıkmıştır. 1977 İzmir depremi senaryosu için de, depremi oluşturabilecek İzmir Fayı'nın inceleme alanına çok yakın mesafede olması nedeniyle yüzey ivmelerinin yüksek olması sonucunda 26 adet sıvılaşabilir tabaka belirlenmiştir. Bir diğer bulgu ise, inceleme alanındaki bütün düşük plastisiteli silt (ML) türü zeminlerin 4 deprem senaryosunda da sıvılaşabilir durumda çıkmasıdır.

Iwasaki vd. (1984) yöntemine göre ise, 1999 Kocaeli depremi için ($M=7.5$) belirlenen 30 adet sıvılaşabilir zemin tabakasının güvenlik faktörleri, bu yöntemde veri olarak kullanılmıştır. İnceleme alanında açılmış olan SK-8, 9, 10, 12, 13, 14, 15 ve 16 no'lu sondaj kuyularından elde edilen I_L değerleri ve bu değerlere karşılık gelen sıvılaşma riskleri, Tablo 6'da verilmektedir.

Tablo 6. Sondaj kuyuları için Iwasaki vd. (1984) yöntemine göre belirlenen I_L değerleri ve sıvılaşma riskleri (I_L values determined from Iwasaki et al., 1984 method and liquefaction risks for boreholes)

Sondaj No.	I_L	Sıvılaşma Riski
SK-8	6.64	Yüksek
SK-9	1.15	Düşük
SK-10	7.07	Yüksek
SK-12	1.58	Düşük
SK-13	19.58	Çok Yüksek
SK-14	6.98	Yüksek
SK-15	12.89	Yüksek
SK-16	7.66	Yüksek

Iwasaki vd. (1984) yöntemi, sadece Tablo 6'da verilen, birden fazla sıvılaşabilir zemin tabakasının bulunduğu sondaj kuyularında uygulanabilmektedir. Diğer sondaj kuyularında birden fazla sıvılaşabilir tabaka bulunmadığından ve bu sondaj kuyularında eğer oluşacaksa sadece noktasal sıvılaşmanın oluşabileceği göz önüne alındığında, I_L değerlerinin hesaplanmasına gerek duyulmamıştır. Bu sonuçlara göre, SK-1, 2, 3 ve 4'te sıvılaşma riski bulunmazken, SK-5, 6 ve 11'de sadece tek tabakada oluşabilecek noktasal bir sıvılaşma gözlemlenmiştir. SK-9 ve 12'de düşük sıvılaşma riski belirlenirken, SK-8, 10, 14, 15 ve 16'da yüksek sıvılaşma riski, SK-13'te çok yüksek sıvılaşma riski oluşabileceği saptanmıştır.

5. Sonuçlar ve Tartışma (Results and Discussion)

Bu çalışma kapsamında, İzmir ili Bornova ilçesinde bulunan bir inşaat alanı zeminleri için yapılmış olan arazi zemin sondajları ve MASW çalışmaları ile laboratuvar deney bulguları kullanılarak, inşaat alanı zeminlerinin dinamik davranışı ve sıvılaşma riski, dinamik yer tepki analizleri ve yaygın olarak uygulanan sıvılaşma analiz yöntemleri ile incelenmiştir. Ayrıca, inceleme alanı zeminlerine özel olarak kayma dalgası hızı (V_s) ile standart penetrasyon direnci (SPT- N_{30}) arasında bir korelasyon ilişkisi geliştirilmiş, literatürde mevcut ilişkiler ile kıyaslandığında anlamlı sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Bu ilişki çıkarılırken arazide MASW yöntemi ile ölçülen kayma dalgası hızı değerleri de kullanılmıştır. Böylece, zeminde kayma dalgası hızının ölçülemediği derinlik

seviyelerinde, bu korelasyon ilişkisi yardımıyla kayma dalgası hızını yaklaşık olarak belirleyebilmek ve dinamik analizlerde kullanabilmek mümkün olabilecektir.

Dinamik zemin davranışı analizleri yapılırken, bir boyutlu ve frekans tanım alanında eşdeğer doğrusal analiz yönteminin uygulanması uygun görülmüştür. Bu yöntemin seçiminde, alanda mevcut bulunan suya doygun, kalın alüvyon zemin koşulları ve TBDY (2018)'e uygunluk çerçevesinde karar verilmiştir. Dinamik zemin davranışı analizleri, DEEPSOIL programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Dinamik zemin davranışı analizlerinin sonucunda elde edilen zemindeki en büyük yer ivmesi (PGA) ve spektral ivme (PSA) değerlerinin alandaki dağılımı, SURFER haritalama programı yardımıyla elde edilmiştir. Yakın mesafe depremi olarak 1977 İzmir (M=5.3) depremi ile analiz yapıldığında, PGA değerleri 0.38 g-0.56 g, PSA değerleri ise 1.45 g-2.25g aralığında değişmektedir. Uzak mesafe depremi olarak 1992 Doğanbey (M=6.0) depremi ile analiz yapıldığında ise, PGA değerleri 0.21 g-0.3 g, PSA değerleri 0.7 g-0.94 g aralığında değişim göstermiştir. Bu değerler, inceleme alanının yakın olduğu bölgeler için daha önceden yapılan RADIUS (1999), Bozkurt (2010), Kuruoglu ve Eskişar (2015) çalışmalarında elde edilen sonuçlarla uyum göstermektedir. 1995 Dinar (M=6.4) ve 1999 Kocaeli (M=7.5) depremleri ile de dinamik analizler yapılmış, 1995 Dinar depremi için PGA değerleri 0.32g-0.44 g, PSA değerleri ise 1.33 g-1.66 g aralığında, 1999 Kocaeli depremi için ise PGA değerleri 0.24 g-0.4 g, PSA değerleri ise 1.05 g-1.8 g aralığında değerler almıştır. Dört depremin ivme kayıtlarının analiz edilmesiyle en yüksek yüzey ivmesi (PGA) değerleri ele alındığında, bu değerlerin 0.21 g ile 0.56 g arasında değiştiği belirlenmiştir. TBDY (2018)'deki hesap yöntemlerine temel oluşturan Türkiye Deprem Tehlike Haritaları uygulamasında, inşaat alanı için yaklaşık PGA değeri 0.454 g olarak verilmektedir. Bu değer, inceleme alanına oldukça yakın olan 1977 İzmir depremi için elde edilen ortalama PGA değeriyle (0.47 g) yakınlık göstermektedir.

İnceleme alanındaki gibi suya doygun alüvyon zemin profillerinde, alana göreceli olarak uzak mesafede oluşacak depremlerin etkilerinin incelenmesi, önem taşımaktadır. Bu sayede, uzak mesafeden gelen deprem hareketi inceleme alanına ulaştığında kısa periyot harmoniklerinin filtrelenmesi ve uzun periyot harmoniklerinin, hâkim periyotları yüksek olan alüvyon zemin koşullarında büyütme etkisi oluşturması söz konusudur. 1992 Doğanbey (M=6.0) depremi için analiz yapıldığında, PGA değerleri için 3.5-5 kat arasında zemin büyütmeleri belirlenmiştir. En yüksek spektral ivme (PSA) değerlerinde, PGA değerlerine benzer büyütme oranları saptanmıştır. Bu çalışmada uzak mesafe depremleri için elde edilen zemin büyütmesi değerleri, RADIUS (1999), Bozkurt (2010), Kuruoglu ve Eskişar (2015) çalışmalarında belirlenen zemin büyütmesi değerlerine yakın sonuçlar vermektedir. Söz konusu çalışmalarda 1977 İzmir depremi için 2-2.5 kata, 1992 Doğanbey depremi için 4.5-5 kata ulaşan zemin büyütmeleri elde edilmiştir.

Dinamik zemin davranışı analizlerinden bulunan sonuçlar ele alınacak olursa, inşaat alanının zemin özelliklerini temsil eden alüvyon zemin koşullarının, kuvvetli depremlerin gerçekleşmesi durumunda en yüksek yer ivmesi ve spektral ivme değerlerini arttırabileceği, yani zemin büyütmesinin ortaya çıkabileceği belirlenmiştir. 1992 Doğanbey (M=6.0), 1995 Dinar (M=6.4) ve 1999 Kocaeli (M=7.5) depremlerine ait ivme-zaman kayıtları analiz edildiğinde, aynı anakaya ivme değerleri girdi olarak alındığında, aynı zemin profillerinde depremin karakteristik özelliğinin de oluşan en yüksek yer ivmesi ve spektral ivme değerlerini etkileyebildiği saptanmıştır. Alanın ivme dağılım haritaları göz önüne alındığında ise, 1977 İzmir depremi de dahil edildiğinde, incelenen dört depremde de inceleme alanının sınırlarına yakın konumlarda bulunan sondaj kuyuları için (SK-3, 8, 9, 14 gibi), en yüksek ivme değerlerinin ortaya çıktığı gözlemlenmiştir. Bu yüksek ivme değerlerinin inşaat alanının sınırlarında bulunması ve merkeze doğru gidildikçe ivmelerin küçülmesi, alanın merkezinde yer alan yapıların güvenliğini olumlu yönde etkileyeceği kanaatini uyandırmaktadır.

Sıvılaşma analizi, iki farklı yöntem kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemlerin tercih edilme nedenleri, uygulanabilirliği yaygın olan, arazi çalışmaları bulgularına dayalı olarak sıkça tercih edilen yöntemler olmalarıdır. Sıvılaşma analiz yöntemleri sayesinde 16 sondaj kuyusundaki zemin profillerinin sıvılaşma riskleri belirlenmiştir. Sondaj kuyularından çıkartılan zemin profilleri incelendiğinde, alanda ilk 20 m'de gözlemlenen ve "sıvılaşmaz" kabul edilen killi zemin profilinin yaygın olması, başlangıçta inceleme alanında sıvılaşma riskinin düşük olabileceği kanaatini uyandırmıştır. Ancak yapılan sıvılaşma analizleri sonucunda, 1999 Kocaeli depremi (M=7.5) için alanda 30 adet sıvılaşabilir nitelikte tabakanın belirlenmesi, ayrıca Iwasaki vd. (1984) yöntemi ile 5 sondaj kuyusuna ait zemin profilinin sıvılaşma riski yüksek ve 1 sondaj kuyusuna ait zemin profilinin sıvılaşma riskinin çok yüksek çıkması, incelenen alanda sıvılaşmanın birkaç konumda meydana gelebileceğinin bir göstergesidir. RADIUS (1999), Bozkurt (2010), Kuruoglu ve Eskişar (2015) çalışmalarında da incelenen alanların belirli konumlarında ve büyüklüğü 6.0'dan yüksek depremlerin gerçekleşmesi durumunda sıvılaşma meydana gelebileceği sonucuna varılmıştır. Bu çalışma ile önceki çalışmaların sonuçları birbirleriyle uyum göstermektedir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

Kaynaklar (References)

- Athanasopoulos, G.A., 1995. Empirical correlations V_{so} - N_{SPT} for soils of Greece: a comparative study of reliability, Proceedings of the 7th International Conference on Soil Dynamics and Earthquake Engineering Computation Mechanics Publications, Southampton, Boston, 19-25.
- Bozkurt, B.H., 2010. İzmir Körfezi Güney Kıyı Zeminleri için Bir Geoteknik Deprem Mühendisliği Araştırması. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, 119 s.
- Ceren, K., Karakan, E. 2020. Zemin Analizleriyle Dinamik Davranış Özelliklerinin Belirlenmesine Yönelik Pilot Bir Çalışma: Kahramanmaraş İli Üngüt Mahallesi Örneği, Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 6 (1), 1-11.
- Çetin, K.Ö., Altun, S., Askan, A., Akgün, M., Sezer, A., Kıncal, C., vd., 2022a. The site effects in İzmir Bay of October 30, 2020 M7.0 Earthquake. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 152, Art. No. 107051, Doi: 10.1016/j.soildyn.2021.107051
- Çetin, K.Ö., Mylonakis, G., Sextos, A., Stewart, J.P., 2022b. Reconnaissance of 2020 M7.0 Samos Island (Aegean Sea) Earthquake. Bulletin of Earthquake Engineering, 20 (14), 7707-7712. Doi: 10.1007/s10518-021-01212-y
- Hashash, Y.M.A., Musgrove, M.I., Harmon, J.A., Groholski, D.R., Phillips, C.A., Park, D., 2016. "DEEPSOIL 7, User Manual". Urbana, IL, Board of Trustees of University of Illinois at Urbana-Champaign, USA.
- Edinçliler, A., Çalıkoğlu, M., 2018. Nonlinear site response analysis for the İzmir region: A case study, Eurasian Journal of Civil Engineering and Architecture, 2 (2), 51-58.
- Ege Temel Sondajcılık Ltd. Şti., 2015. İzmir ili Bornova ilçesinde bir parselde ait Zemin Etüdü Raporu, Bornova-İzmir.
- Eskişar, T., 2008. İzmir Körfezi Kuzey Kıyılarındaki Zemin Özelliklerinin ve Geoteknik Sorunlarının İncelenmesi, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ege Üniversitesi, İzmir.
- Eskişar, T., Kuruoğlu, M., Altun, S., Özyalın, Ş., Yılmaz, H.R., 2014a. Site response of deep alluvial soils in the northern coast of İzmir Bay (Turkey) and a microzonation study based on geotechnical aspects. Engineering Geology, 172, 95-116.
- Eskisar, T., Karakan, E., Altun, S., 2014b. Evaluation of cyclic stress strain and liquefaction behavior of İzmir sand, Arabian Journal Science Engineering, 39 (11), 7513-7524.
- Hasançebi, N., Ulusay, R., 2007. Empirical correlations between shear wave velocity and penetration resistance for ground shaking assessments. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 66 (2), 203-213.
- Iyisan, R., 1996. Correlations between shear wave velocity and in situ penetration test results. Teknik Dergi, İnşaat Mühendisleri Odası, 7, 371-374.
- Iwasaki, T., Arakawa, T., Tokida, K.I., 1984. Simplified procedures for assessing soil liquefaction during earthquakes. International Journal of Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 3 (1), 49-58.
- Kale, P., 2008. Yerel Arazi Etkilerinin Bir ve İki Boyutlu Analizlerle İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 161 s.
- Kiku, H., Yoshida, N., Yasuda, S., Irisawa, T., Nakazawa, H., Shimizu, Y., Ansal, A., Erkan, A., 2001. In situ penetration tests and soil profiling in Adapazari, Turkey. Proceedings of the ICSMGE/TC4 satellite conference on lessons learned from recent strong earthquakes, 259-265.
- Kıran, B. Maheshwari, B.K., Muley, P., 2016. Correlation between shear wave velocity (V_s) and SPT resistance (N) for Roorkee region. International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering, 2 (1), 9 p.
- Kramer, S.L., 1996. Geotechnical Earthquake Engineering, Pearson Education India.
- Kuruoğlu, M., 2004. Geographical Information System (GIS) Based Database Development and Evaluation Study for Soils of Northern Coast of İzmir Bay. Doktora Tezi (İngilizce), Fen Bilimleri Enstitüsü, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, 151 s.
- Kuruoğlu, M., 2019. The effect of local site characteristics on dynamic site response analyses of a major urban area: Warnings of moderate scale earthquakes. Journal of Modern Technology and Engineering, 4 (3), 195-210.
- Kuruoğlu, M., Eskişar, T., 2015. Effect of local soil conditions on dynamic ground response in the southern coast of İzmir Bay, Turkey. Russian Geology and Geophysics, 56 (8), 1201-1212.
- Mert, M., 2018. Zeminlerin Sıvılaşma Potansiyelinin Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Analizlerle Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, 140 s.
- Nar, D., 2016. Kocaeli Gölçük İlçesi çöküntü bölgesi yerel zemin özelliklerinin sismolojik ve bir boyutlu zemin davranış analizleri ile karşılaştırılması olarak araştırılması. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, 176 s.
- Ohba, S., Toriumi, I., 1970. Dynamic response characteristics of Osaka Plain, In: Proceedings of the annual meeting, AIJ (in Japanese).
- Ohta, Y., Goto, N., 1976. Estimation of s-wave velocity in terms of characteristic indices of soil, Butsuri-Tanko, 29 (4), 34-41.
- Ohta, Y., Goto, N., 1978. Empirical shear wave velocity equations in terms of characteristics soil indexes. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 6 (2), 167-187.
- Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER) Ground Motion Database, <https://ngawest2.berkeley.edu/>.
- RADIUS, 1999. Earthquake Scenario and Master Plan for the City of İzmir, Final Report, Ed. Prof. Dr. Mustafa Erdik, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul. <https://www.izmir.bel.tr/izmirdeprem/#4sekiller>
- RockWorks, 2020. Golden CO USA: RockWare, Inc.
- Seed, H.B., Idriss, I.M., 1971. Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential. Journal of Soil Mechanics and Foundations Div., 97 (9), 1249-1273.
- Surfer, 2020. Contouring, Gridding, & 3D Surface Mapping, Surfer® from Golden Software, LLC (www.goldensoftware.com)
- Thaker, T.P., Rao, K.S., 2011. Development of statistical correlations between shear wave velocity and penetration resistance using MASW technique. Pan-Am CGS. Geotechnical Conference.

- TBDY, 2018. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara.
- Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması, 2018. <https://tdth.afad.gov.tr/>
- Uma Maheswari, R., Boominathan, A., Dodagoudar, G.R., 2010. Use of surface waves in statistical correlations of shear wave velocity and penetration resistance of Chennai soils. *Geotechnical and Geological Engineering*, 28 (2), 119-137.
- Vucetic, M., Dobry, R., 1991. Effect of Soil Plasticity on Cyclic Response. *Journal of the Geotechnical Engineering*, 117 (1), 89-107.
- Yakut, A., Sucuoğlu, H., Binici, B., Canbay, E., Donmez, C., vd., 2022. Performance of structures in Izmir after the Samos Island Earthquake. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 20 (14), 7793-7818. Doi: 10.1007/s10518-021-01226-6
- Youd, T.L., Idriss, I.M., Andrus, R.D., Arango, I., Castro, G., Christian, J.T., Dobry, R., Finn, W.D.L., Harder, L.F., Hynes, M.E., Ishihara, K., Koester, J.P., Liao, S.S.C., Marcuson, W.F., Martin, G.R., Mitchell, J.K., Moriwaki, Y., Power, M.S., Robertson, P.K., Seed, R.B., Stokoe, K.H., 2001. Liquefaction resistance of soils: Summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF workshops on evaluation of liquefaction resistance of soils. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 127 (4), 297-313.



A NEW MATHEMATICAL MODEL FOR PARALLEL ASSEMBLY LINE BALANCING PROBLEM WITH ERGONOMIC CONSTRAINTS: ERGOPALBP

Yılmaz DELİCE¹, Emel KIZILKAYA AYDOĞAN², Salih HİMMETOĞLU^{3*}

¹ Kayseri Üniversitesi, Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Uluslararası Ticaret ve Lojistik Bölümü, Kayseri, Türkiye

² Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye

³ Kayseri Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Montaj Hattı Dengeleme, Paralel Montaj Hattı, Ergonomi, Matematiksel Model, Gerçek Hayat Uygulaması.</i>	Paralel montaj hattı (PMH) sistemleri, gerçek hayattaki uygulamalarda yüksek hacimli ve seri üretim için en çok tercih edilen montaj hattı (MH) tiplerinden biridir. PMH'lerde, bir paralel montaj hattı dengeleme problemi (PAMHDP) temel olarak belirli öncelik ilişkilerine ve görev işleme sürelerine göre çözülür. Ancak, akademik araştırmalar genellikle istasyonlarda çalışanların maruz kaldığı ergonomik baskıları hesaba katmaz. Gerçek hayattaki PMHDP'lerde ergonomik yönleri dikkate almak daha doğru bir yaklaşım olacaktır. Bu çalışmada ergonomik kısıtlı PMHDP (ergoPMHDP) ele alınmaktadır. Buna göre, klasik PMHDP matematiksel modeli, ergonomik kısıtlamalar eklenerek değiştirilir. ergoPMHDP için önerilen matematiksel model, gerçek hayat uygulaması olarak bir PMH sisteminde uygulanmıştır. Klasik PMHDP için kullanılan ve ergoPMHDP için önerilen matematiksel modellerle elde edilen ergonomik risk faktörleri ve toplam istasyon işlem süreleri karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre ergoPMHDP için önerilen matematiksel model başarılı bir performans göstermektedir.

ERGONOMİK KISITLI PARALEL MONTAJ HATTI DENGELEME PROBLEMİ İÇİN YENİ BİR MATEMATİKSEL MODEL: ERGOPMHDP

Keywords	Abstract
<i>Assembly Line Balancing, Parallel Assembly Line, Ergonomics, Mathematical Model, Real-life Application.</i>	Paralel assembly line (PAL) systems are one of the most preferred assembly line (AL) types for high volume and mass production in real-life applications. In the PALs, a parallel assembly line balancing problem (PALBP) is basically solved according to certain priority relations and task processing times. However, academic research generally does not take into account the ergonomic strains exposed by workers at stations. It would be a more accurate approach to consider ergonomic aspects in real-life PALBPs. In this study, the ergonomic-constrained PALBP (ergoPALBP) is discussed. Accordingly, the classical PALBP mathematical model is modified by adding ergonomic constraints. The mathematical model proposed for ergoPALBP has been implemented in a PAL system as a real-life application. Both ergonomic risk factors and total station operation times obtained with mathematical models used for classical PALBP and proposed for ergoPALBP were compared. According to the results obtained, the mathematical model proposed for the ergoPALBP shows a successful performance.

Alıntı / Cite

Delice, Y., Aydoğan, E. K., Himmetoğlu, S., (2023). A New Mathematical Model for Parallel Assembly Line Balancing Problem with Ergonomic Constraints: ERGOPALBP, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(3), 1086-1096.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

Y. Delice, 0000-0002-4654-0526
E. K. Aydoğan, 0000-0003-0927-6698
S. Himmetoğlu, 0000-0001-6081-3650

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	21.11.2022
Revizyon Tarihi / Revision Date	30.05.2023
Kabul Tarihi / Accepted Date	26.06.2023
Yayın Tarihi / Published Date	28.09.2023

* İlgili yazar / Corresponding author: salihhimmetoglu@kayseri.edu.tr, +90-352-432-3838/30006

A NEW MATHEMATICAL MODEL FOR PARALLEL ASSEMBLY LINE BALANCING PROBLEM WITH ERGONOMIC CONSTRAINTS: ERGOPALBP

Yılmaz Delice¹, Emel Kızılkaya Aydoğan², Salih Himmetoğlu^{3†}

¹ Department of International Trade and Logistic, Faculty of Applied Sciences, Kayseri University, Kayseri, Türkiye

² Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Erciyes University, Kayseri, Türkiye

³ Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering Architecture and Design, Kayseri University, Kayseri, Türkiye

Highlights

- Ergonomic-constrained parallel assembly line balancing problem is introduced.
- A new mathematical model is presented.
- Rapid entire body assessment method is integrated into the proposed model.
- A real-life application is implemented.

Graphical Abstract

Table. The summary of the results for the classical PALBP and the proposed ergoPALBP models

	PALBP	ergoPALBP
Processing time deviation	6.8%	6.8%
Ergonomic risk factor (ERF) deviation	18%	5.2%
The sum of the ERF difference among stations	114	34

Purpose and Scope

This study aims to present a new approach considering ergonomic aspects in real-life PALBPs.

Design/methodology/approach

A mathematical model is presented for ergoPALBP. A classical PALBP model is modified by adding ergonomic constraints. The proposed model is implemented in a PAL system as a real-life application.

Findings

Both ergonomic risk factors and total station operation times obtained with mathematical models used for classical PALBP and proposed for ergoPALBP are compared. The results show that ERF deviation is reduced by about 13% for the related real-life application. Processing times between stations are not adversely affected.

Research limitations/implications

Since ergoPALBP is NP-hard in nature, the proposed mathematical model may be forced for solving the large-sized problem sets. Therefore, the meta-heuristic approaches can be improved.

Practical implications

Considering ergonomic constraints in real life PALBP will balance the workload per worker in terms of both time and work strains.

Social Implications (if applicable)

Adding ergonomic constraints in assembly line balancing problems will prevent musculoskeletal disorders on workers. It will be ensured that workers can live a healthier and more comfortable life. It will also contribute to occupational health and safety.

Originality

There is almost no study considering ergonomic constraints in PALBPs. Accordingly, the classical PALBP mathematical model is modified by adding ergonomic constraints. This paper will contribute to real-life PALBP applications.

[†] Corresponding author: salihhimmetoglu@kayseri.edu.tr, +90-352-432-3838/30006

1. Introduction

At the beginning of the twenty century, assembly lines (ALs) implemented by Henry Ford and his engineering team became essential mass and high-volume manufacturing systems. Since then, ALs have been used in many industries, from automotive to food (Küçükkoç and Zhang, 2017; Zhang et al, 2020). In this process, the ALs have shown many developments and their many types and problems have been addressed according to the production characteristics such as U-shaped, two-sided, line balancing (e.g., cycle time and number of stations), and work assignment. One of these is parallel ALs (PALs). A PAL system consists of at least two adjacent ALs parallel to each other. (Özcan et al. 2010a). Özcan et al. (2010a) described the main advantages of PAL systems as follows;

- In the facility layout, shorter ALs can be designed.
- The number of operators/workers can be reduced by establishing joint station(s).
- Even if any station on any line stops, other lines continue production. This situation provides production effectiveness.
- The line efficiency is increased by reducing the idle durations.
- The ALs with joint or different cycle times can work together.

Classic ALs problems, which are handled with certain constraints and objectives, are generally called AL balancing problems (ALBPs). ALBP has restrictions such as cycle time, the number of stations, and precedence relationships. These restrictions are also valid for PALs.

In fact, one of the most important constraints in real-life parallel ALBPs (PALBPs) is the ergonomic aspects of the tasks, as in other ALBP types. Considering ergonomic conditions is one of the issues that companies should be sensitive about in order to care about worker health and to prevent work accidents. In the PALs, even if the durations of the tasks assigned to the same station may be the same, their processing difficulty may be different. Accordingly, tasks should be assigned to stations not only by taking into account the durations but also by considering the ergonomic characteristics of the tasks.

The PALs were first introduced by Gökçen et al. (2006), and they proposed a mathematical model for the PALBP. Since then, many papers have been published on the PALBPs. Scholl and Boysen (2009) presented a binary linear programming model and a branch bound algorithm to minimize the number of the station(s) in the PALs. Esmaeilian et al. (2009) proposed a single-pass heuristic algorithm in order to minimize the cycle time in the PALs with mixed-model (MMPALs). Özcan et al. (2010b) improved a simulated annealing algorithm in order to minimize the number of station(s) in the MMPALs. In addition, Özcan et al. (2010a) proposed a solution approach based on tabu search algorithm for the tow-sided PALBP (TSPALBP). Küçükkoç et al. (2013) presented an ant colony optimization algorithm in order to minimize the number of the station(s) in the TSPALBP. Araújo et al. (2015) considered line balancing and worker assignment problems in the PALs (PALWABP). They proposed mixed-model linear programming model, tabu search, and biased random-key genetic algorithm in order to separately minimize the cycle time in the PALWABP. Küçükkoç and Zhang (2015) proposed a single-pass heuristic algorithm to minimize the station's number in the u-shaped PALBPs (UPALBPs). In addition, Küçükkoç and Zhang (2017) improved a mixed-model parallel u-line heuristic in order to minimize the number of stations(s) in the u-shaped MMPALBPs (UMMPALBPs). Özcan et al. (2018) presented a chance-constrained, piecewise linear, mixed-integer programming model and a tabu search algorithm for minimizing the stations' number in the PALBP considering stochastic task durations (SPALBP). Özcan et al. (2022) improved a new binary linear programming model and proposed a new artificial bee colony-based solution approach in order to minimize the cycle time in the PALWABP. For a detailed literature survey of the PALBP, the review paper published by Aguilar et al. (2020), Bakar et al. (2020), Jiao et al. (2021), and Boysen et al. (2021) can also be viewed.

In recent years, ergonomic aspects have been extensively discussed in the AL literature. Güner and Hasgöl (2012) proposed integer programming model for the u-shaped ALBP (UALBP) with ergonomic factors. Battini et al. (2016) presented a multi-objective model for ALBP considering energy expenditure-based ergonomics Şahin and Kaya (2018) proposed a goal programming model for the ALBP under the ergonomic constraints. Kahya et al. (2018) developed a new ALBP model with ergonomic risk factors by using COMSOAL algorithm. Polat et al. (2018) developed a goal programming model to minimize the cycle time of the ALBP under ergonomic workload constraints. Kahya and Yetkin (2019) proposed a new model considering REBA method for an ergonomic ALBP. Akyol and Baykasoğlu (2019) introduced ALBP with the worker assignment (ALWABP) considering ergonomic risks. Xu et al. (2019) proposed a multi-objective particle swarm optimization algorithm to minimize the number of station(s) in the ALBP considering the fatigue balance of workers. They used the REBA method to calculate the posture risk of each task. Zhang et al. (2020) presented a multi-objective approach in order to minimize ergonomic risk and cycle time for the u-shaped ALWABP (UALWABP). Ozdemir et al. (2021) proposed a fuzzy multi-objective model for the ALBP with ergonomic risks. As mentioned above, although there are many studies considering

ergonomic risks on the ALs in the literature, to the best of the authors' knowledge, there is only one published paper that considered ergonomic aspects on the PALBP. In the paper published by Mokhtarzadeh et al. (2021), a mixed-integer non-linear programming model, constraint programming, and a heuristic algorithm were presented. In addition, ergonomic risks were calculated with NIOSH, REBA, OCRA, EAWS, and COPSOQ methods, after the tasks are classified as easy, medium, and hard by using the ELECTRE TRI method. Yetkin and Kahya (2022) developed a bi-objective ergonomic ALBP model with a conic scalarization method. They preferred the REBA method to calculate the physical workload caused by the tasks.

Developing mathematical models with ergonomic constraints for ALBPs is quite difficult due to the complexity of nonlinearity. Ergonomic risk-calculating methods widely preferred in the literature include nonlinear aggregation functions (Otto and Scholl, 2011). This study proposes a linear mathematical model in order to solve the PALBP under the ergonomic constraints (ergoPALBP). The widely used REBA method to consider ergonomic risks in ALs is adapted to the mathematical model. Using the proposed mathematical model, three different problems, which are commonly used in the literature, are solved, respectively, small-sized, medium-sized, and large-sized.

This paper is organised as follows: Section 2 presents the problem definition, REBA method, and mathematical model under the methodology topic. Section 3 is about a real-life application results and discussion. Finally, conclusions and future works are given in Section 4.

2. Material and Method

2.1. Problem Definition

The definitions of the ergoPALBP addressed in this study are given below;

- The PAL systems consist of at least adjacent two ALs.
- Each line l has a set of tasks ($l = 1, \dots, L, L \geq 2$).
- The stations of each line l do not have to be different. That is, any station s can be jointly installed between the adjacent PALs ($s = 1, \dots, S$).
- The tasks in the non-adjacent ALs cannot be assigned to the same station while the joint stations can be installed on adjacent ALs.
- Each task t in the PALs must be assigned to only one station ($t = 1, \dots, T_l$).
- The processing time (pt_{it}) is known in advance for each task t in each AL l .
- The worker strain values (trunk, load/force, wrist, etc.) are predetermined for each task.
- A precedence diagram (P) is available among the tasks of each line. If there is a priority condition between tasks t and k in a line, these tasks are included in the related set ($t, k \in P(t, k)$).
- The cycle time (CT) of each AL is the same and already known. The total processing durations of tasks assigned to the stations cannot exceed the CT .
- The part transportation and walking durations between the lines are negligible.
- The main aim is to minimize the total number of stations in the PAL systems by balancing processing durations and ergonomic risk levels among the stations.

2.2. REBA (Rapid Entire Body Assessment) Method

The workers' body, i.e., musculoskeletal postures, should be considered in order to analyze the ergonomic risks in the ALs. A worker is subjected to certain strains during his/her every move (e.g., holding, coupling, bending, lifting, turning, etc.). In order to detect these strains and convert them to numerical data, many methodologies are used in the literature such as EAWS, NIOSH, OCRA, and REBA. While some of these methods enable detailed analysis, they are only suitable for a few sectors. On the other hand, although other methods can be applied to many sectors, they do not allow for detailed analysis. In order to overcome these disadvantages, the REBA method can be used in the analysis of working postures.

The REBA method, which is widely used in the AL literature, was first introduced by Hignett and McAtamney (2000). The REBA method basically considers the trunk, neck, legs, upper arms, lower arms, and wrists. The ergonomic risk value called REBA score is calculated by including the load, force, and coupling to the degrees of strain of these limbs. The tables introduced by Hignett and McAtamney (2000) are used to determine the value of each parameter. The score table called 'Table A' is used for the trunk, neck, and legs (see., Table 1). The score table called 'Table B' is used for the upper arms, lower arms, and wrists (see., Table 2). Then, A and B scores are calculated by considering load, force, and coupling parameters (see., Table 3). According to these scores, the C score is calculated by using Table C (see., Table 4). Finally, the REBA score is obtained by adding the activity score

to the C score. This process is performed for each task in the ALs. The REBA scores of the tasks assigned to the stations are summed in order to determine the ergonomic risks of the related stations. A general REBA score sheet is available in Figure 1. In addition, the REBA score levels are given in Table 5. For detailed body diagrams of the REBA method, refer to Hignett and McAtamney (2000).

Table 1. Table A for REBA method

TABLE A		NECK											
		1				2				3			
		LEGS											
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
TRUNK	1	1	2	3	4	1	2	3	4	3	3	5	6
	2	2	3	4	5	3	4*	5	6	4	5	6	7
	3	2	4	5	6	4	5	6	7	5	6	7	8
	4	3	5	6	7	5	6	7	8	6	7	8	9
	5	4	6	7	8	6	7	8	9	7	8	9	9

Table 2. Table B for REBA method

TABLE B		LOWER ARM					
		1			2		
		WRIST					
		1	2	3	1	2	3
UPPER ARM	1	1	2	3	1	2	3
	2	1	2	3	2	3	4*
	3	3	4	5	4	5	5
	4	4	5	5	5	6	7
	5	6	7	8	7	8	8
	6	7	8	8	8	9	9

Table 3. Load/force and coupling scores for REBA method

LOAD/FORCE	<5 kg	5-10 kg	>10 kg	Shock or rapid buildup of force
SCORE	0	1*	2	+1
COUPLING	Good	Fair	Poor	Unacceptable
SCORE	0*	1	2	3

Table 5. REBA ergonomic risk levels

DEGREE	REBA SCORE	RISK LEVEL	ACTION
0	1	Negligible	Non necessary
1	2-3	Low	May be necessary
2	4-7	Medium	Necessary
3	8-10	High	Necessary soon
4	11-15	Very high	Necessary urgent

2.3. Mathematical Model

In this study, the mathematical model presented by Gökçen et al. (2006) is utilized to minimize the number of stations. In addition, this model is modified by adding new constraints to adapt the REBA method. After the number of stations is determined, the alternative line balances are generated to obtain lower REBA scores and to balance ergonomic risks among the stations according to the available number of stations. The notations of the models are given below;

Indices:

l: Line number

s, m: Station number

t, k: Task number

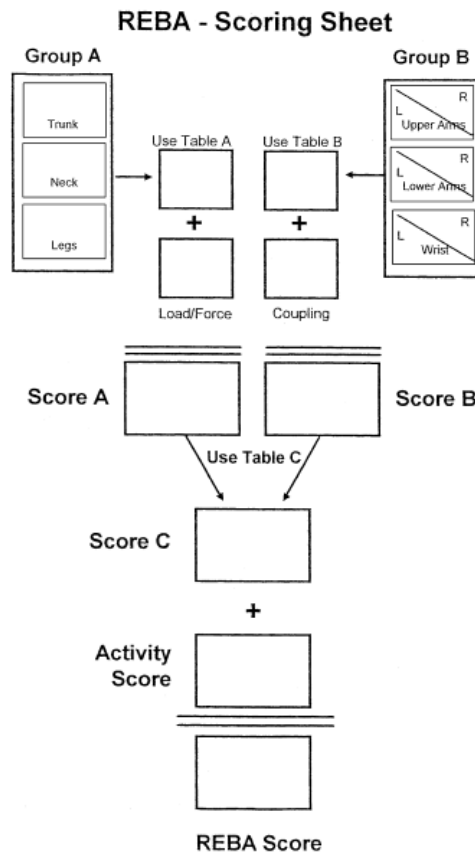


Figure 1. REBA assessment sheet (Hignett and McAtamney, 2000)

Parameters:

- pt_{lt} : Processing time of each task t in each AL l
- S_{max} : Number of potential stations
- T_l : Number of the tasks in each AL l
- L : Number of the lines
- $P(t, k)$: The set of tasks k that includes the successor of task t
- CT : Joint cycle time
- M : A large number
- erf_{lt} : Ergonomic risk factor of task t in each AL l

Decision variables:

- $x_{lts} = \begin{cases} 1, & \text{if station } s \text{ is established for task } t \text{ in the line } l \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$
- $U_{ls} = \begin{cases} 1, & \text{if station } s \text{ is established for the line } l \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$
- $z_s = \begin{cases} 1, & \text{if station } s \text{ is established} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$
- S = Number of the stations minimized
- ERF_s = Ergonomic risk factor of the station s
- w_{sm} = Unrestricted auxiliary decision variable

2.3.1. Classic PALBP Model

The classic PALBP mathematical model is given below;

$$\min S = \sum_{s=1}^{S_{max}} z_s \tag{1}$$

Subject to:

$$\sum_{s=1}^{S_{max}} x_{lts} = 1 \text{ for } \forall l = 1, \dots, L \text{ and } t = 1, \dots, T_l \tag{2}$$

$$\sum_{t=1}^{T_l} pt_{lt} \cdot x_{lts} + \sum_{t=1}^{T_{l+1}} pt_{(l+1)t} \cdot x_{(l+1)ts} \leq CT \text{ for } \forall l = 1, \dots, L - 1 \text{ and } s = 1, \dots, S_{max} \quad (3)$$

$$\sum_{t=1}^{T_l} x_{lts} \leq M \cdot U_{ls} \text{ for } \forall l = 1, \dots, L \text{ and } s = 1, \dots, S_{max} \quad (4)$$

$$U_{ls} \leq z_s \text{ for } \forall l = 1, \dots, L \text{ and } s = 1, \dots, S_{max} \quad (5)$$

$$U_{ls} + U_{(l+a)s} = 1 \text{ for } \forall l = 1, \dots, L - 2, a = 2, \dots, L - l, \text{ and } s = 1, \dots, S_{max} \quad (6)$$

$$\sum_{s=1}^{S_{max}} (S_{max} - s + 1) \cdot (x_{lts} - x_{lks}) \geq 0 \text{ for } \forall t, k \in P(t, k) \text{ and } l = 1, \dots, L \quad (7)$$

$$x_{lts}, U_{ls}, z_s \in \{0,1\} \text{ and } S \geq 0 \text{ for } \forall l = 1, \dots, L, t = 1, \dots, T_l, \text{ and } s = 1, \dots, S_{max} \quad (8)$$

Equation 1 is the objective function that minimizes the number of stations in PALs. Equation 2 ensures that any task in any PAL is assigned to only one station. According to Equation 3, the total processing durations of the tasks assigned to the same station from the adjacent two AL cannot exceed the *CT*. Equation 4 means that if a task *t* on line *l* is assigned to station *s*, the station *s* serves line *l*. Equation 5 ensures that if station *s* serves any line *l*, station *s* is established. Equation 6 avoids assigning the same station to non-adjacent ALs. Equation 7 provides precedence relationships amongst the tasks. Equation 8 restricts the decision variables.

2.3.2. Proposed ergoPALBP Model

After minimizing the number of stations according to the mathematical model described above, the REBA method is added to the mathematical model, and the PALBP model is modified as the ergoPALBP model. Since the number of stations is determined in the previous model, the objective function is no longer the minimization of the number of stations in the ergoPALBP model. The decision variable *S* is the parameter now, not the decision variable of the ergoPALBP model. The ergoPALBP mathematical model is given below;

$$\min \sum_{s=1}^S \sum_{m=1}^S |ERF_s - ERF_m| \quad s < m \quad (9)$$

Subject to:

Equations (2)-(7) and *S_{max}* is changed as *S* (*s* = 1, ..., *S*)

$$\sum_{l=1}^L \sum_{t=1}^{T_l} erf_{lt} \cdot x_{lts} = ERF_s \text{ for } \forall s = 1, \dots, S \quad (10)$$

$$x_{lts}, U_{ls}, z_s \in \{0,1\} \text{ and } ERF_s \geq 0 \text{ for } \forall l = 1, \dots, L, t = 1, \dots, T_l, \text{ and } s = 1, \dots, S \quad (11)$$

Equation 10 calculates the total REBA score of all tasks assigned to station *s*. Equation 11 defines the updated decision variables. Here, the *erf_{lt}* values, which is the ergonomic risk factor of each task *t* in each line *l*, are actually the auxiliary decision parameters. Note that, *erf_{lt}* can be separately calculated from the mathematical model. Ergonomic risk values can be easily calculated since the REBA table values of all tasks are known in advance. Objective function 9 is an absolute function. That is, it is a non-linear equation. Therefore, it should be transformed into a linear form to solve as a linear programming model the problem. Accordingly, the new model with updated objective function and the added constraints are given below;

$$\min \sum_{s=1}^S \sum_{m=1}^S w_{sm} \quad s < m \quad (12)$$

Subject to:

Equations (2)-(7), (10)-(11) and *S_{max}* is changed as *S* (*s* = 1, ..., *S*)

$$ERF_s - ERF_m \leq w_{sm} \text{ for } \forall s, m = 1, \dots, S \text{ and } s < m \quad (13)$$

$$ERF_m - ERF_s \leq w_{sm} \text{ for } \forall s, m = 1, \dots, S \text{ and } s < m \quad (14)$$

Accordingly, the absolute value expression in objective function 9 is equalized to *w_{sm}*, which is the unrestricted auxiliary decision variable. The new objective function is Equation 12. Since objective function 9 is an absolute value function, objective function 12 must always take a positive value. Therefore, Equations 13-14 ensure that the *w_{sm}* is always positive.

3. A Real-life Application for Proposed Mathematical Model

In this section, a real-life application is performed for the proposed ergoPALBP mathematical model. Thus, it is aimed to explain the proposed mathematical model better and analyze its applicability. Accordingly, the young bed assembly line of a furniture production facility in Turkey is addressed. Since the time and method studies have been performed in advance on the existing AL, the task processing times and precedence relationships among the tasks are already known. In addition, ergonomic risk levels arising from various body postures of the operators/workers are known in advance with ergonomic measurements. The REBA method is used for analyzing ergonomic measurements. A PAL is designed using the information of the related single AL. That is, the real-life application consists of adjacent and the same two ALs. Both of them have seventeen tasks.

First, the PALBP application is solved by using the model presented by Gökçen et al. (2006). Then, it is solved for the ergoPALBP by considering ergonomic risk factor measurements. Finally, the line balancing and risk factor distribution results of the two models are compared. Summary data on line balancing and ergonomic conditions are given in Table 6.

Table 6. Line balancing data and ergonomic conditions of the tasks

Task no	LINE BALANCING DATA		ERGONOMIC DATA								
			TABLE A			TABLE B			AUXILIARY		
	Immediate predecessor(s)	Task durations	Trunk	Neck	Legs	Upper arms	Lower arms	Wrists	Load/force	Coupling	Activity score
1	--	4	2	2	2	2	2	3	1	0	0
2	1	3	1	2	1	1	1	1	0	0	0
3	1	9	1	1	2	2	2	3	0	1	1
4	2, 3	5	1	3	2	3	2	3	0	0	0
5	4	9	1	3	2	1	2	1	1	0	0
6	5	4	5	1	1	2	1	3	1	0	0
7	5	8	4	1	1	2	2	3	0	0	0
8	6, 7	7	4	1	1	2	1	2	0	0	0
9	8	5	1	2	2	1	1	1	0	0	0
10	9	1	2	2	2	3	2	1	0	1	0
11	9	3	1	1	2	1	1	1	0	0	0
12	7	1	1	1	2	2	1	2	0	0	0
13	9	5	3	1	1	4	2	1	0	2	1
14	12	3	1	1	1	3	2	1	0	0	0
15	10, 11, 13	5	3	1	2	1	1	2	1	0	0
16	15	3	1	3	2	1	1	3	0	0	0
17	13, 14, 16	13	2	2	1	3	1	2	1	0	1

Both models are implemented in Cplex Optimization Studio 12.8. Computer specifications are 12th Generation Intel® Core™ i5-12400F 2.50 GHz processor and 16 GB memory.

In this PAL system performed production with the joint CT , the CT is 21. According to the mathematical model applied for the PALBP, the minimum number of stations is 9. Stations 1, 2, 4, 5, and 7 are common stations for the two ALs. Stations 3 and 8 serve the first AL, and Stations 6 and 9 serve the second AL. Ergonomic measurements given in Table 6 are taken into account to calculate the ERF values. For example, the ERF values of Task 1 at each line (erf_{11} and erf_{21}) are calculated as follows; first, Table A value in Table 1 is calculated according to trunk (2), neck (2), and legs (2) measurements (Table A=4). Then, the Table B value in Table 2 is determined according to the upper arms (2), lower arms (2), and wrists (3) measurements (Table B=4). A score is obtained by adding the load/force measurement (1) to Table A value according to Table 3 (Score A=5). In addition, the B score is calculated by adding the coupling measurement (0) to Table B value according to Table 3, (Score B=4). The Score C value in Table 4 is obtained by using the Score A and Score B values (Score C=5). Finally, the REBA score of Task 1 is calculated by adding the activity score (0) to Score C ($erf_{11}=erf_{21}=5$). Station 7 has the maximum ERF value ($ERF=17$). Stations 2, 3, and 5 have the minimum ERF value ($ERF=10$). The values in the REBA tables for task 1 are

indicated by the mark '*'. The tasks assigned to stations, processing times, and ergonomic risk factors for PALBP are given in Table 7. Since the minimum number of the stations obtained by the mathematical model applied for the PALBP is 9, the number of the station is considered as 9 in the mathematical model proposed for the ergoPALBP. Accordingly, the Stations 2, 3, 5, 6, and 8 are common stations for the two ALs. Stations 1 and 4 serve the first AL, and Stations 7 and 9 serve the second AL. The tasks assigned to stations, processing times, and ergonomic risk factors for PALBP are given in Table 8.

Table 7. The application results for the PALBP model

STATIONS	LINE-I TASKS	LINE-II TASKS	STATION PROCESSING TIMES	ERF
1	1,2	1,3	20	16
2	3,4	2	17	10
3	5,6,7	--	21	10
4	8,9,10	4	21	14
5	12,14	5,7	21	10
6	--	6,8,9,13	21	14
7	15,16	10,11,15	17	17
8	13,17	--	18	11
9	--	12,14,16,17	20	12

Table 8. The application results for the ergoPALBP model

STATIONS	LINE-I TASKS	LINE-II TASKS	STATION PROCESSING TIMES	ERF
1	1,2,3	--	16	11
2	4,5	1,2	21	13
3	6,7	3	21	12
4	8,9,11,12,13	--	21	13
5	10	4,5	15	12
6	14,15	6,7	20	13
7	--	8,9,10,11,15	21	14
8	16,17	12,16	20	13
9	--	13,14,17	21	13

As can be seen in Tables 7 and 8, assignment of tasks to stations, station processing times and ergonomic risk factors have changed for both models. In the PALBP model, the processing time deviation (*PTD*) calculated with formula 23 was calculated as 6.8%. In addition, this level is maintained in the ergoPALBP model. In the PALBP model, the *ERF* deviation (*ERFD*) calculated with formula 24 is approximately 18%. In addition, this deviation is approximately 5% in the ergoPALBP model. The sum of the *ERF* difference between stations (*SERF*) calculated by formula 25 is 114 in the PALBP model, while it is 34 in the ergoPALBP model. The results summaries for the two models are given in Table 9.

Table 9 shows that although the variability of task times among the stations does not change, lower and balanced *ERF* values are obtained. In other words, both the line balance on the basis of time is preserved and the risk factors are balanced in terms of ergonomic strains. Among alternative line balances, i.e., different task assignments, for an available number of stations and cycle time, a more suitable PAL design can be established in terms of the ergonomic conditions. It can be said that this situation is an essential indicator for balancing the ergonomic strains of workers in practice.

$$PTD(\%) = \frac{\sum_{s=1}^S |PT_s - CT|}{CT \cdot S} \tag{15}$$

$$ERFD(\%) = \frac{\sum_{s=1}^S \sum_{m=1}^S |ERF_s - ERF_m|}{ERF_{average} \cdot S} \quad s < m \tag{16}$$

$$SERF = \sum_{s=1}^s \sum_{m=1}^s |ERF_s - ERF_m| \quad s < m \tag{17}$$

Table 9. The summary of the results for the PALBP and ergoPALBP models

	PALBP	ergoPALBP
PTD	6.8%	6.8%
ERFD	18%	5.2%
SERF	114	34

4. Conclusions and Future Studies

One of the AL types widely used in real-life AL applications is the PALs. In PALs, considering ergonomic conditions instead of line balancing by considering only processing times will provide an important perspective for real-life applications. In this study, ergonomic constraints in the PALBPs are discussed. The mathematical model presented by Gökçen et al. (2006) for classical PALBP has been updated by adding ergonomic constraints. The REBA method, which is widely used in the ALBP literature, is used to include ergonomic conditions. The proposed mathematical model is used in an existing real-life ALBP. A PAL system is designed by considering the priority relationships, task times, and ergonomic conditions of the exiting ALBP. The designed PAL is solved for both the classical PALBP model and the proposed ergoPALBP model. According to the ergonomic risk factors of the stations, approximately 13% improvement is achieved with the ergoPALBP model compared to the classical PALBP model. According to the results obtained, both the economic pressures that the workers are exposed to in the PALs are balanced and the total processing times of the stations are not adversely affected.

The following aspects may be considered for the ergoPALBP problem in the future:

- State-of-the-art approaches such as swarm intelligence-based algorithms (ant colony optimization, particle swarm optimization, artificial be colony, etc.) and evolutionary algorithms (genetic algorithm, genetic programming, etc.) may be improved to solve large-sized problems in real-life.
- Multi-objective PALs, mixed-model PALs, U-shaped PALs, two-sided PALs considering ergonomic risk factors may be a good topic for future studies.
- More robust and realistic perspectives can be obtained in practice by addressing worker-oriented different perspectives that cause variability (worker assignment) according to the capabilities of the operators/workers and uncertainty (interval task times or stochastic task times) along with ergonomic constraints.
- Different ergonomic methods (e.g., NIOSH, OCRA, EAWS, COPSOQ, etc.) may be considered in the ergoPALBPs.

Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

References

- Aguilar, H., García-Villoria, A., Pastor, R., 2020. A Survey of The Parallel Assembly Lines Balancing Problem. *Computers and Operations Research*, 105061.
- Akyol, S., D., Baykasoğlu, A., 2019. ErgoALWABP: A Multiple-rule Based Constructive Randomized Search Algorithm for Solving Assembly Line Worker Assignment and Balancing Problem under Ergonomic Risk Factors. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 30(1), 291-302.
- Araújo, F., F., B., Costa, A., M., Miralles, C., 2015. Balancing Parallel Assembly Lines with Disabled Workers. *European Journal of Industrial Engineering*, 9 (3), 344-365.
- Bakar, N., A., Zakaria, M., Z., Ramli, M., F., Nasir, N., F., M., Azizan, M., M., Jusoh, M., 2021. Research Objective in Assembly Line Balancing Problem: A Short Review. *Intelligent Manufacturing and Mechatronics*, 249-258.
- Battini, D., Delorme, X., Dolgui, A., Persona, A., Sgarbossa, F., 2016. Ergonomics in Assembly Line Balancing Based on Energy Expenditure: A Multi-objective Model. *International Journal of Production Research*, 54(3), 824-845.
- Boysen, N., Schulze, P., Scholl, A., 2021. Assembly Line Balancing: What Happened in the Last Fifteen Years?. *European Journal of Operational Research*, 301(3), 797-814.
- Esmailian, G., R., Ismail, N., Sulaiman, S., Ahmad, M., M., H., M., Hamed, M., 2009. Allocating and Balancing of Mixed Model Production through the Parallel Assembly Lines. *European Journal of Scientific Research*, 31(4), 616-631.
- Gökçen, H., Agpak, K., Benzer, R., 2006. Balancing of Parallel Assembly Lines. *International Journal of Production Economics*, 103, 600-609.
- Güner, B., Hasgül, S., 2012. Sürdürülebilir Denge için Ergonomik Faktörleri İçeren U-tipi Montaj Hattı Dengelemesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 27(2), 407-415.
- Hignett, S., McAtamney, L., 2000. Rapid Entire Body Assessment (REBA). *Applied Ergonomics*, 31(2), 201-205.
- Jiao, Y., L., Jin, H., Q., Xing, X., C., Li, M., J., Liu, X., R., 2021. Assembly Line Balance Research Methods, Literature and Development Review. *Concurrent Engineering*, 29(2), 183-194.
- Kahya, E., Şahin, B., N., Daşdelen, E., Doğru, S., 2018. Ergonomik Risk Kısıtları Altında Yeni Bir Montaj Hattı Dengeleme Modeli Geliştirilmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 6, 49-57.
- Kahya, E., Şahin, B., N., 2019. A New Model Proposal for Ergonomic Assembly Line Balancing. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 7(4), 767-778.
- Küçükkoç, İ., Zhang, D., Keedwell, E., C., 2013. Balancing Parallel Two-sided Assembly Lines with Ant Colony Optimization Algorithm. 2nd Symposium on Nature-Inspired Computing and Applications, NICA 2013 - AISB Convention.
- Küçükkoç, I., Zhang, D., Z., 2015. Balancing of Parallel U-shaped Assembly Lines. *Computers and Operations Research*. 64, 233-244.

- Küçükkoç, İ., Zhang, D., Z., 2017. Balancing of Mixed-model Parallel U-shaped Assembly Lines Considering Model Sequences. *International Journal of Production Research*, 55(20), 5958-5975.
- Mokhtarzadeh, M., Rabbani, M., Manavizadeh, N., 2021. A Novel Two-stage Framework for Reducing Ergonomic Risks of a Mixed-model Parallel U-shaped Assembly-line. *Applied Mathematical Modelling*, 93, 597-617.
- Otto, A., Scholl, A., 2011. Incorporating Ergonomic Risks into Assembly Line Balancing. *European Journal of Operational Research*, 212(2), 277-286.
- Özcan, U., Gökçen, H., Toklu, B., 2010a. Balancing Parallel Two-sided Assembly Lines. *International Journal of Production Research* 48, 16, 4767-4784.
- Özcan, U., Çerçioğlu, H., Gökçen, H., Toklu, B., 2010b. Balancing and Sequencing of Parallel Mixed-model Assembly Lines. *International Journal of Production Research*, 48(17), 5089-5113.
- Özcan, U., 2018. Balancing Stochastic Parallel Assembly Lines. *Computers and Operations Research*, 99, 109-122.
- Özdemir, R., Sarigol, I., AlMutairi, S., AlMeea, S., Murad, A., Naqi, A., AlNasser, N., 2021. Fuzzy Multi-objective Model for Assembly Line Balancing with Ergonomic Risks Consideration. *International Journal of Production Economics*, 239, 108188.
- Özcan, U., Aydoğan, E., K., Himmetoğlu, S., Delice, Y., 2022. Parallel Assembly Lines Worker Assignment and Balancing Problem: A Mathematical Model and an Artificial Bee Colony Algorithm. *Applied Soft Computing*, 109727.
- Polat, O., Mutlu, Ö., Özgormus, E., 2018. A Mathematical Model for Assembly Line Balancing Problem Type 2 under Ergonomic Workload Constraint. *The Ergonomics Open Journal*, 11(1).
- Scholl, A., Boysen, N., 2009. Designing Parallel Assembly Lines with Split Workplaces: Model and Optimization Procedure. *International Journal of Production Economics*. 119(1), 90-100.
- Şahin, B., N., Kahya, E., 2018. Hedef Programlama Modeli ile Ergonomik Kısıtlar Altında Montaj Hattı Dengelemesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 6, 188-196.
- Xu, L., Liu, K., Chen, Y., Li, A., 2019. Assembly Line Balancing Problem-1 Considering Fatigue Balance of Workers. *Tongji Daxue Xuebao/Journal of Tongji University*. 47(2), 241-247.
- Yetkin, B., N., Kahya, E., 2022. A Bi-objective Ergonomic Assembly Line Balancing Model with Conic Scalarization Method. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing and Service Industries*, 32(6), 494-507.
- Zhang, Z., Tang, Q., Ruiz, R., Zhang, L., 2020. Ergonomic Risk and Cycle Time Minimization for the U-shaped Worker Assignment Assembly Line Balancing Problem: A Multi-Objective Approach. *Computers and Operations Research*, 118, 104905.



KONVANSİYONEL RİNG İPLİKÇİLİKTE İPLİK TÜYLÜLÜĞÜNÜ İYİLEŞTİRMEK İÇİN ÇAPRAZ İPLİK YOLU PRENSİBİNE DAYANAN YENİ BİR EĞİRME KONSEPTİ

İrem ÇELİK^{1*}, Demet YILMAZ^{2*}

¹ Uğurlular Tekstil Sanayi ve Ticaret A.Ş., Denizli, Türkiye

² Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

Anahtar Kelimeler

*Diyagonal Eğirme,
İplik Tüylülüğü,
Kompakt İplik Eğirme
Makinası,
Ring İplik Eğirme Makinası,
Offset Eğirme.*

Öz

Konvansiyonel ring iplik eğirme sistemi, pek çok avantajı nedeniyle iplik pazarında önemli bir konuma sahiptir. Ancak, son yıllarda ring iplik özelliklerini özellikle de yüksek iplik tüylülüğünü iyileştirmeye yönelik çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Kompakt iplik eğirme sistemi, pnömatrik/mekanik yoğunlaştırma yoluyla eğirme üçgeninin küçültülmesi ve böylece iplik özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla geliştirilmiştir. Sistem, daha iyi değerlere sahip iplik üretimini imkan kılarsa da, özellikle yeni bir makineye yatırım maliyeti ihtiyacını beraberinde getirmesi nedeniyle iplik tüylülüğünü azaltmaya yönelik arayışlar halen sürmektedir. Son yıllarda, ring iplik yönteminin eğirme geometrisinde değişiklik yapma esasına dayanan sağ/sol diyagonal olarak adlandırılan yeni bir eğirme yöntemi konusunda çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmada da, sağ/sol diyagonal eğirme düzeninin gerçek işletme ortamında iplik özelliklerine etkisinin bobinleme öncesi ve sonrasında incelenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada, farklı elyaf türleri ile Ne 10/1 ile Ne 16/1 iplik numara aralığında triko büküm değerlerinde ring iplikler üretilmiş ve iplik özellikleri incelenmiştir. Çalışma sonunda, sağ diyagonal eğirme düzeninin özellikle iplik tüylülüğü değerlerinde iyileşme sağladığı, diğer iplik özelliklerinde ise normal eğirme düzeni ile karşılaştırılabilir değerlerin elde edildiği belirlenmiştir. Dolayısıyla, diyagonal eğirme gibi çeşitli alternatif yaklaşımların ilave bir makine veya cihaz/aparata yatırım yapmadan mevcut ring iplik makinasında daha iyi iplik özelliklerinin elde edilmesi açısından potansiyel taşıdığı ve bu nedenle daha detaylı araştırmaların yapılması gerektiği düşünülmektedir.

A NOVEL SPINNING CONCEPT BASED ON A DIAGONAL YARN PATH ARRANGEMENT TO IMPROVE YARN HAIRINESS IN CONVENTIONAL RING SPINNING

Keywords

*Diagonal Ring Spinning,
Yarn Hairiness,
Compact Spinning System,
Ring Spinning,
Offset Spinning.*

Abstract

Conventional ring spinning system has an important position in the yarn market due to its many advantages. However, in recent years, various studies have been carried out to improve yarn properties, especially yarn hairiness. Compact spinning system has been developed to minimize the spinning triangle through pneumatic/mechanical compaction and thereby improving yarn properties. Although the system enables better yarn properties, the research activities are still ongoing to produce less hairy yarns, particularly due to the need of new machinery investment costs. In recent years, studies have been carried out on a new spinning method called right/left diagonal spinning, which is based on changing the spinning geometry of the ring spinning. In this study, it was aimed to research the effect of right/left diagonal spinning arrangement on yarn properties in a yarn spinning mill before and after winding. In the study, ring yarns with different fiber types and knitting twist values between Ne 10/1 and Ne 16/1 yarn counts were produced and yarn properties were examined. At the end of the study, it was determined that right diagonal spinning arrangement provided an improvement in yarn hairiness values, while other yarn properties were comparable with that of the normal spinning arrangement. Therefore, it is considered that alternative approaches such as diagonal spinning arrangement etc. have the potential to achieve better yarn properties without the requirement of new machinery investment or additional device/apparatus, and therefore more detailed research is needed.

* İlgili yazar / Corresponding author: demetyilmaz@sdu.edu.tr, +90-246-211-1186

Alıntı / Cite

Çelik, İ., Yılmaz, D., (2023). Konvansiyonel Ring İplikçilikte İplik Tüylülüğünü İyileştirmek için Çapraz İplik Yolu Prensbine Dayanan Yeni Bir Eğirme Konsepti, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(3), 1097-1108.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

İrem Çelik, 0009-0007-0970-6201
Demet Yılmaz, 0000-0003-4450-5935

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	10.05.2023
Revizyon Tarihi / Revision Date	13.07.2023
Kabul Tarihi / Accepted Date	14.07.2023
Yayın Tarihi / Published Date	28.09.2023

A NOVEL SPINNING CONCEPT BASED ON A DIAGONAL YARN PATH ARRANGEMENT TO IMPROVE YARN HAIRINESS IN CONVENTIONAL RING SPINNING

İrem ÇELİK¹, Demet YILMAZ^{2†}

1 Uğurlular Tekstil Sanayi ve Ticaret A.Ş, Denizli, Turkey

2 Süleyman Demirel University, Engineering Faculty, Textile Engineering Department, Isparta, Turkey

Highlights

- Altering the spinning triangle geometry by diagonally offsetting the yarn path during ring spinning
- Improved hairiness of ring spun yarns with right/left diagonal spinning arrangement
- Obtaining less hairy yarn production without the requirement for a new machine investment
- Alternative approaches to improve the hairiness of ring spun yarns

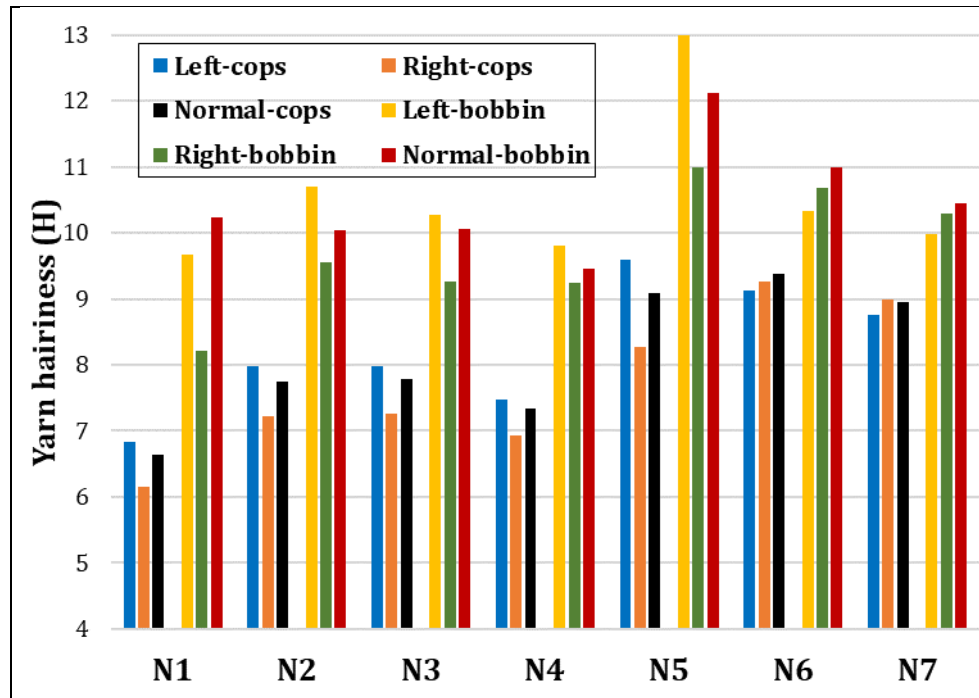
Graphical Abstract

Figure. Yarn hairiness test results

Purpose and Scope

Even though the compact spinning system allows the production of low hairy yarns today, the system requires a new machinery investment. Therefore, there is a need for alternative solutions for the production of yarn with better yarn hairiness values on the ring spinning machine. In this study, it is aimed to examine the effect of an alternative approach called right/left spinning arrangement on yarn properties in a short staple yarn production

† İlgili yazar / Corresponding author: demetyilmaz@sdu.edu.tr, +90-246-211-1186

company. In the study, it was particularly focused on the realization of the experiments in a yarn spinning mill. It was planned to evaluate the right/left spinning order in terms of yarn quality parameters before and after winding, yarn breakage and ease of operation.

Design/methodology/approach

In the study, the spinning geometry was changed by feeding the yarn coming out of the drafting system to the right or left spindle of the conventional ring spinning machine. Feeding to the right spindle was called right diagonal while feeding to the left spindle was called left diagonal. 100% carded and combed cotton, organic combed cotton and 50/50% modal/organic combed cotton blends were used. Ring spun yarns with knitted twist in the coarser yarn count range such as Ne 10/1 and Ne 16/1 were produced. Yarn physical properties such as unevenness, thin-thick places and neps, hairiness, strength and elongation at break were tested before and after winding. The properties of the yarns obtained with the right and left diagonal spinning arrangement were compared with the ring spun yarns obtained with the normal spinning arrangement and the changes in the yarn properties were examined.

Findings

At the end of the study, it was determined that right diagonal spinning arrangement provided an improvement especially in yarn hairiness values, while other yarn properties were comparable with that of the spun yarns obtained with normal arrangement.

Research limitations/implications

According to the results, right diagonal spinning arrangement provided lower yarn hairiness values. In order to make a clearer decision and to evaluate the potential of the right diagonal spinning approach, it is thought that it is necessary to experiment with wider yarn counts, twist ranges and fiber types.

Practical implications

Alternative approaches such as right and left spinning arrangement have the potential to achieve better yarn properties on an ring spinning machine without investing in an additional machine or device/apparatus.

Social Implications

Our country is an important yarn producer in terms of ring spinning spindle capacities. A ring spinning machine is used in almost every staple yarn manufacturing mills. On the other hand, with the increase in competition conditions, the expectation for obtaining quality products at lower costs has also increased. Therefore, at the end of the study, it was showed that alternative approaches such as right/left diagonal spinning arrangement have the potential to improve yarn properties without investing in a new machine or apparatus/device.

Originality

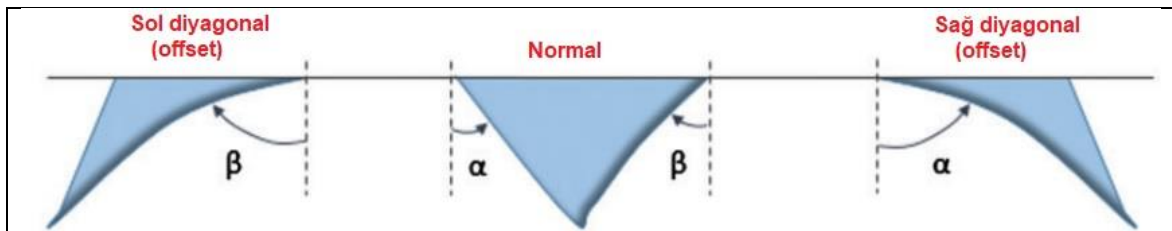
The study showed that yarn production with better yarn hairiness values is possible via a right/left diagonal spinning arrangement on a existing ring spinning machine without investing in a new machine. As a result of experiments with different fiber types, various yarn counts and twist levels, it was determined that the right/left diagonal spinning arrangement does not have any obvious limitations in terms of fiber type, yarn count range and twist value. However, it was indicated that the produced yarns also offer lower yarn hairiness values after winding.

1. Giriş (Introduction)

Geliştirilmesinden bu yana, ring iplik eğirme sisteminin bileşenleri büyük ölçüde iyileştirilmiş ve özellikle bu çabalar 2000'li yıllarda daha da artmış durumdadır (Krifa vd., 2002). Bilezik çapı, iğ hızı, farklı kopça ve bilezik tipleri ve otomasyon konusunda iyileştirmeler gerçekleştirilmiştir (Nikolic vd., 2003). Gelişmelere ve modernizasyona rağmen ring iplikçiliğinin arkasındaki teknoloji, büyük ölçüde değişmeden kalmıştır (Artzt, 2003; Oxenham, 2003). Bugün hala ring iplik eğirme, iplikçilik pazarında baskın iplik eğirme teknolojisidir ve ring iplikler tartışmasız kalite kriteri olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle, ring iplik eğirme alanındaki çalışmaların çoğunda, üretim hızı ve otomasyon olanaklarının artırılmasına odaklanılmıştır. Son birkaç on yılda, geleneksel ring iplik eğirme ile rekabet edebilmek için hava jetli, sürtünme (friksiyon) ve açık uçlu eğirme gibi yeni eğirme teknikleri tanıtılmıştır. Bu tekniklerin çoğunda, yüksek üretim hızının elde edilmesi amaçlanmaktadır. Ancak, ring iplik yapısı mikroskop altında incelendiğinde, tüm liflerin iplik yapısına tam olarak entegre olmadığı ve bazı liflerin iplik yapısından dışarı doğru çıktığı kolayca görülmektedir. Çıktı liflerden oluşan düzensiz ve tüylü iplik yapısı iplik ve kumaş kalitesini olumsuz etkilerken, eğirme ve eğirme sonrası proseslerde uçuntu oluşumuna, elyaf

telefine ve iplik kopuşlarına neden olmaktadır (Stalder, 2000). Yapılan araştırmalarda, bu yapıya çekim sistemindeki ön silindirlerin kıştırma noktasında oluşan eğirme üçgeninin neden olduğu belirlenmiştir. Söz konusu olumsuzlukları elimine etmeye yönelik çeşitli çalışmalar yapılmış ve sonuçta kompakt iplik eğirme sistemi tanıtılmıştır. Kompakt iplik eğirme, konvansiyonel ring iplik eğirmenin yeni versiyonu olarak kabul edilmekte olup, tanıtıldığı günden bu yana iplikçiler tarafından oldukça ilgi görmektedir. Kompakt iplik eğirmenin esası, ön çekim silindir kıştırma noktasından çıkan lif demetini yoğunlaştırarak eğirme üçgeninin mümkün olduğunca küçültülmesidir. Bu amaçla, çekim bölgesinde pnomatik veya mekanik yoğunlaştırma üniteleri kullanılmaktadır. İplik tüylülüğü ve iplik mukavemeti başta olmak üzere iplik özelliklerinde iyileşme sağlanmasına karşın, kompakt iplik eğirme yönteminin özellikle pnomatik yoğunlaştırma ünitesinden kaynaklanan yüksek makine maliyeti ve ekipman bakımı ihtiyacı gibi bazı dezavantajları bulunmaktadır (Yılmaz, 2004; Singh vd., 2019). Bu nedenle, iplik özelliklerinin iyileştirilmesine yönelik halen araştırma çalışmaları devam etmektedir. Özellikle, düşük yatırım maliyeti gerektiren alternatif iplik tüylülük azaltma yöntemleri için iplikhanelerde hala önemli bir talep bulunmaktadır. Son yıllarda, iplik tüylülüğünün azaltılmasına yönelik hava düzesi kullanımı esasına dayanan Jetring veya NozzleRing (Sawhney ve Kimmel, 1997; Wang ve ark., 1997), çekilmiş fitilin ince elyaf demetlerine ayrılması esasına dayanan SolospunTM, CSIRO firması tarafından geliştirilen ve çift fitil kullanılarak iplik eğirme işlemi esasına dayanan sirospun gibi çeşitli alternatif iplik eğirme yöntemleri de tanıtılmış durumdadır. Adı geçen alternatif yaklaşımlara "sol diyagonal" ve "sağ diyagonal" eğirme yöntemi olarak adlandırılan yeni bir girişim daha eklenmiş durumdadır.

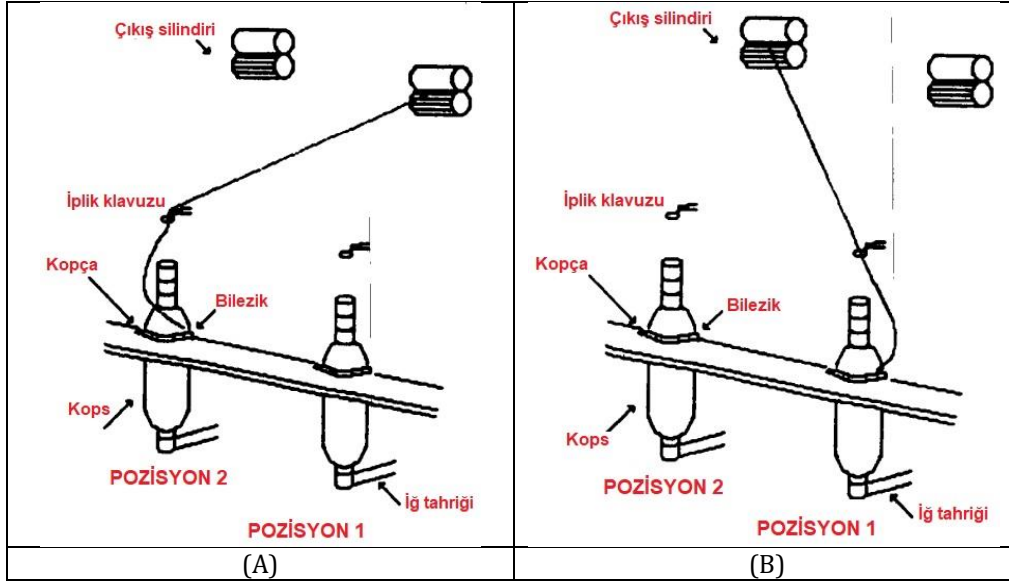
Ring iplik eğirme sisteminde, fitilin çekim sistemine girişi ile kops oluşumuna kadar olan lif akışından oluşan eğirme geometrisi iplik yapı ve özellikleri ile iplik kopuşları üzerinde önemli rol oynamaktadır (Klein, 1993). Özellikle, çekim sisteminin çıkışı ile ipliğin büküm aldığı ve iplik oluşumunun gerçekleştiği eğirme üçgeni olarak adlandırılan bölge, iplik tüylülüğü başta olmak üzere iplik mukavemeti, kopma uzaması gibi diğer iplik özellikleri üzerinde oldukça etkilidir. Literatürde bazı araştırmacılar, eğirme üçgenindeki liflerin durumu ve iplik tüylülüğüne etkileri konusunda çeşitli çalışmalar gerçekleştirmiştir. Wang ve Chang (2003) çalışmalarında, eğirme üçgeninde bulunan liflerin üzerindeki tansiyonun dağılımı simetrik kabul edilse de aslında bükümden dolayı asimetrik olduğunu belirtmişlerdir. Wu vd. (2011), eğirme üçgeninin sol ve sağ tarafındaki liflerin aynı düzlem içinde bükülmediğini ifade etmişlerdir. Najar (1996) çalışmalarında, Z-bükümlü bir iplik için, eğirme üçgeninin sağ tarafındaki liflerin büküm işlemi sırasında ön bir büküm işlemine maruz kaldığını ve bu nedenle bu liflerin etkili bir şekilde iplik yapısına bağlandığını, ancak sol taraftaki liflerin daha az kontrol altında olduğunu belirtmiştir. Eğirme üçgeninde asimetrik lif dağılımının sol taraftaki liflerin iplik oluşumu sırasında kontrolden çıkarak, iplik tüylülüğünün oluşumuna yol açtığı belirtilmiştir. Dolayısıyla, eğirme üçgeninin sol tarafındaki liflerin iplik oluşum noktasına ulaşmasından önce mesafesinin kısaltılması durumunda iplik tüylülüğünün azaltılabileceği ifade edilmiştir. Bu mesafenin, iplik bükümünün arttırılması ve iplik eğirme yolunun modifiye edilmesi olmak üzere iki şekilde azaltılabileceği belirtilmiştir. Bu nedenle, Wang ve Chang (2003) çalışmalarında, "sol diyagonal" ve "sağ diyagonal" olarak adlandırdıkları eğirme düzeni ile eğirme geometrisinde değişiklik yaparak, iplik özelliklerindeki değişimi araştırmışlardır (Şekil 1).



Şekil 1. İplik yolu modifikasyonunun eğirme üçgeni geometrisi üzerindeki etkisi (Effect of yarn path offset on spinning triangle geometry) (Singh vd., 2019)

Wang ve Chang (2003), %100 yün lifleri ile kamgarn ring iplik makinasında yaptıkları denemede sol ve sağ diyagonal eğirme düzeninde çekim sisteminden çıkan iplik sırasıyla sol veya sağ taraftaki iğ'e verilmiştir (Şekil 2A, B). Sol diyagonal eğirme düzeninde, eğirme üçgeninin sol tarafındaki liflerin iplik birleşme noktasına olan mesafesinin azalmasından dolayı, bu liflerin daha az düzeyde kontrolden çıkabilecek olması ve bu sırada sağ taraftaki liflerin ise ön büküm ile kontrol altında bulunmasından dolayı iplik kalite değerlerinin iyileşebileceği belirtilmiştir. Öte yandan, sağ diyagonal eğirme düzeninde ise eğirme üçgeninin sol tarafındaki liflerin kontrolünün azalmasından dolayı iplik tüylülüğünün artabileceği ifade edilmiştir. Sol ve sağ diyagonal eğirme düzeninin iplik tüylülüğünü azaltma etkisine karşın, iplik kılavuzunun üst bölümünde eğirme geriliminin azalması ve iplik kılavuzunda iplik bükümünün konvansiyonel eğirmeye kıyasla rahat ilerleyememesi, iplik ile iplik kılavuzu arasında artan sürtünme nedeniyle iplik kopuşlarının artabileceği gibi önemli bir sıkıntının ortaya çıkabileceği belirtilmiştir. Çalışmada, sol ve sağ diyagonal eğirme düzeni ile konvansiyonel eğirme düzeni ile denemeler yapılmış ve sağ diyagonal eğirme düzeninde daha düşük 3 mm'den uzun tüy sayısı (S3) değerleri elde edilmiştir. İplik tüylülüğünde iyileşmenin aksine iplik düzgünlüğü ve iplik mukavemeti değerlerinin yeni eğirme düzenine

karşı hassas olduğu ve özellikle yüksek iğ hızlarında iplik kopuşlarının arttığı tespit edilmiştir.



Şekil 2. Sol (A) ve sağ (B) diyagonal eğirme düzeni (Left (A) and right (B) diagonal spinning pattern) (Wang ve Chang, 2003)

Thilagavathi vd. (2005), Wang ve Chang (2003) çalışmalarına benzer şekilde sağ ve sol diyagonal eğirme düzenini kullanarak, %100 pamuk ve %67/33 polyester ve pamuk lif karışımını kullanarak sırasıyla Ne 40/1 ve Ne 45/1 numara iplikler üretmişlerdir. Çalışmada, normal eğirme yöntemine kıyasla sol eğirme düzeninde 3 mm'den uzun tüy sayısında (S3) %50 oranında ve iplik mukavemetinde az miktarda iyileşme meydana geldiği belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, eğirme yolunun kısalması ile açıklanmıştır.

Thilagavathi vd. (2009) bir diğer çalışmalarında, yeni bir alt silindir, basınç çubuğu, pnömafıl borusu ve ara parçadan oluşan bir sol diyagonal eğirme düzeni üzerinde çalışmışlardır. %100 pamuk lifleri ile Ne 25, 40, 60 ve Ne 70 numara, %70/30 pamuk/polyester karışımı ile Ne 30, Ne 45 ve Ne 64 numara iplikler üretmişlerdir. Çalışmada, 60 mm sol diyagonal eğirme düzeninde S3 değerlerinde %40-75 arasında değişen oranda iyileşme tespit edilirken, iplik hata ve mukavemeti değerlerinde belirgin bir değişimin gözlenmediği belirtilmiştir.

Wu vd. (2011) çalışmalarında, eğirme yolunu modifiye etmişler ve sağ/sol diyagonal eğirme düzenine geçebilmek için çekim sisteminin çıkışı ile iplik klavuzu arasına yatay olarak hareket edebilen bir travers klavuzu yerleştirmişlerdir. Çalışmada, öncelikle hızlı kamera sistemi ile görüntüler alınmış ve eğirme geometrisi incelenmiştir (Şekil 3). Normal eğirme düzeninde ilk olarak sağ taraftaki liflerin büküldüğü, ön bir büküm etkisinin meydana geldiği ve sol taraftaki liflerin düzleminin, sağ taraftaki liflerin düzleminin altında olduğu gözlenmiştir (Şekil 3B). Ön büküm nedeniyle sağ taraftaki lifler kontrol altında iken, sol taraftaki liflerin tüylülüğü arttırdığı belirtilmiştir. Sol diyagonal eğirme düzeninde ön büküm etkisinin daha baskın olduğu ve böylece lif tansiyonundaki asimetric dağılımın daha da arttığı, ancak sağ eğirme düzeninde ön büküm etkisinin daha kolay meydana geldiği ve bu durumun her iki taraftaki liflerin tansiyon ve lif dağılımı arasında denge sağladığı ve böylece asimetric eğirme üçgeninin iplik tüylülüğünü daha az derecede arttırdığı belirtilmiştir (Şekil 3A, C). Çalışmada, %100 pamuk lifleri ile Ne 20, Ne 40 ve Ne 60 numara ring iplikler üretilmiş ve sağ eğirme düzeninde 12 mm mesafe ayarında en düşük tüylülük değerlerinin (S3) elde edildiği belirlenmiştir.



Şekil 3. Sol (A), normal (B) ve sağ (C) diyagonal eğirme düzeni (Left (A), normal (B) and right (C) diagonal spinning arrangement) (Wu vd., 2011)

Liu vd. (2013) çalışmalarında, sol/sağ diyagonal eğirme düzeninin iplik tüylülüğü üzerinde etkili olması avantajına

karşın, bir iğın boşa çıkarılması gibi önemli bir probleminin olduğunu belirtmiş ve bu probleme çözüm olarak eğirme yolunu modifiye etmeye yönelik bir iplik kılavuz aparatının geliştirilmesini araştırmışlardır. Çalışmalarında, aparat teorik ve sayısal yöntemlerle analiz edilmiştir.

Singh vd. (2019) çalışmalarında, %100 pamuk liflerini kullanarak Ne 39.4 ve Ne 59 olmak üzere iki farklı iplik numarası ve S ve Z olmak üzere iki farklı bükümde sol ve sağ diyagonal ve normal eğirme düzeninde ring iplikler üretmişlerdir. Diyagonal eğirmenin derecesi, iplik yolu ile dikey eksen arasındaki açı ile belirlenmiş ve açı 35° olarak sabit tutulmuştur. Diyagonal eğirme sırasında liflerin sarılmasını takip etmek için siyah izleyici ve beyaz fitiller birlikte beslenmiştir. Çalışmada, Z bükümlü ipliklerde sağ, S bükümlü ipliklerde ise sol eğirme düzeninin iplik tüylülüğünün azalmasını sağladığı belirlenmiştir. Ancak, her iki eğirme düzeninde de iplik düzgünlüğü değerlerinin bir miktar arttığı tespit edilmiştir. Z bükümlü ipliklerde, sağ eğirme düzeninde iplik gerilme özellikleri bir miktar iyileşirken, sol eğirme düzeninde değerlerde az da olsa azalma meydana geldiği belirlenmiştir. Sol veya sağ eğirme yönüne göre eğirme üçgeninin kenarındaki liflerin sarılma davranışının önemli derecede değiştiği tespit edilmiştir. İzleyici liflerden oluşan karışımlar kullanılarak yapılan denemelerde, Z bükümlü iplikte sol eğirme düzeninde eğirme üçgeninin sol, sağ eğirme düzeninde ise tam tersi şekilde sağ taraftaki liflerin iplik yüzeyinde daha baskın görüldüğü gözlenmiştir. Ön bükümün pozisyonun, eğirme üçgenin genişliği boyunca büküm tansiyonunu düzensiz bir şekilde dağıttığı ve özellikle sol eğirme düzeninde eğirme üçgeninin sağ tarafındaki liflerin ön büküm alırken, sol taraftaki liflerin normal eğirme düzeninden daha fazla derecede serbest ve gevşek durumda bulunduğu, bu durumun sol kenardaki liflerin iplik gövdesine dahil edilmesini geciktirdiği ve böylece tüylülüğün arttığı belirtilmiştir. Sağ eğirme düzeninde ise ön bükümün eğirme üçgeninin her iki kenarından eşit uzaklıkta konumlandığı, tüm liflerin geldikleri yönlerden bağımsız olarak hemen hemen benzer büküm gerilimine maruz kaldığı ve böylece daha düşük tüylülük değerlerinin elde edildiği ifade edilmiştir. Çalışmada, çekim sisteminden çıkan bir lifin yatay ve ekstenel olarak hareket ettiği, yatay yönde tüm lif uzunluğu boyunca eğirme üçgeninde yakalanamazsa dikey olarak hareket edip, iplik tüylülüğüne sebep olduğu ve yatay yönde yakalanma olayını eğirme üçgenindeki ön bükümün konumunun etkilediği belirtilmiştir. Çalışmada, eğirme üçgenindeki ön bükümün konumuna karar veren birincil faktörün, bükümün eğirme üçgeninde ilerlemesindeki kolaylığın belirlediği, ön bükümün nispeten gergin olan ve bükümün akışına minimum mekanik engel teşkil eden yol boyunca otomatik olarak konumlandığı ifade edilmiştir.

Özetle, ring ipliklerin iplik tüylülüğünü azaltmak için geliştirilen kompakt iplik eğirme sistemi daha iyi değerlere sahip iplik üretimini imkan kılarsa da, özellikle yeni bir makineye yatırım ihtiyacından doğan makine maliyeti nedeniyle iplik tüylülüğünü azaltmaya yönelik arayışlar halen sürmektedir. Son yıllarda, ring iplik eğirme makinasının eğirme geometrisinde değişiklik yapma esasına dayanan yeni bir eğirme yöntemi konusunda çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalar halen başlangıç aşamasında olup, bulgular sınırlı düzeydedir. Bununla birlikte, eğirme parametrelerinden özellikle sol veya sağ eğirme yönünün iplik tüylülüğü üzerinde daha etkili olduğu konusunda net bir bulgu henüz ortaya konamamıştır. Z bükümlü iplik için Wang ve Chang (2003), Wu vd. (2011) ve Singh vd. (2019) sağ, Thilagavathi vd. (2005; 2009) ise sol eğirme düzeninin daha etkili olduğunu belirlemişlerdir. Öte yandan, Singh vd. (2019) çalışmalarında sağ/sol diyagonal eğirme düzeninin konvansiyonel iplik eğirmeye karşı umut verici rolünü tam olarak ortaya koymak için çalışabilirlik, üretim ve kalitenin birleşik faktörlerini dikkate alan büyük işletme ölçeğinde çalışmaların yapılması gerektiği önerisini yapmışlardır. Bu çalışmada da gerçek işletme ortamında sol/sağ diyagonal eğirme yönteminin farklı elyaf türleri ve iplik numaraları ile iplik üretim denemelerinin yapılması ve iplik kalite parametreleri, iplik kopuş durumu ve çalışma kolaylığı açısından değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

3.1. Materyal (Material)

Sol/sağ diyagonal eğirme yönteminin iplik özelliklerine etkisini belirlemek için %100 pamuk karde ve penye, %50/50 modal/organik pamuk penye ve organik penye pamuk lifleri kullanılmıştır. %100 pamuk ve organik pamuk harmanına ait lif özellikleri, Tablo 1'de verilmiştir. Modal lifleri, 38 mm lif uzunluğu ve 1.3 dtex lif inceliğine sahiptir.

Tablo 1. Lif özellikleri (Cotton fiber properties)

Numune türü	Uzunluk (2.5 SL) (mm)	İncelik (Mic.)	Uniformite	Kısa lif miktarı (%)	Mukavemet (g/tex)	Kopma uzaması (%)	Olgunluk	Neps (adet/g)	Trash (adet/g)
%100 pamuk	28.41	4.38	81.2	9.6	30.43	7.1	0.88	222	65.3
%100 organik penye pamuk	29.15	5.04	83.6	6.2	31.3	6.9	0.88	77	69

3.2. Metot (Method)

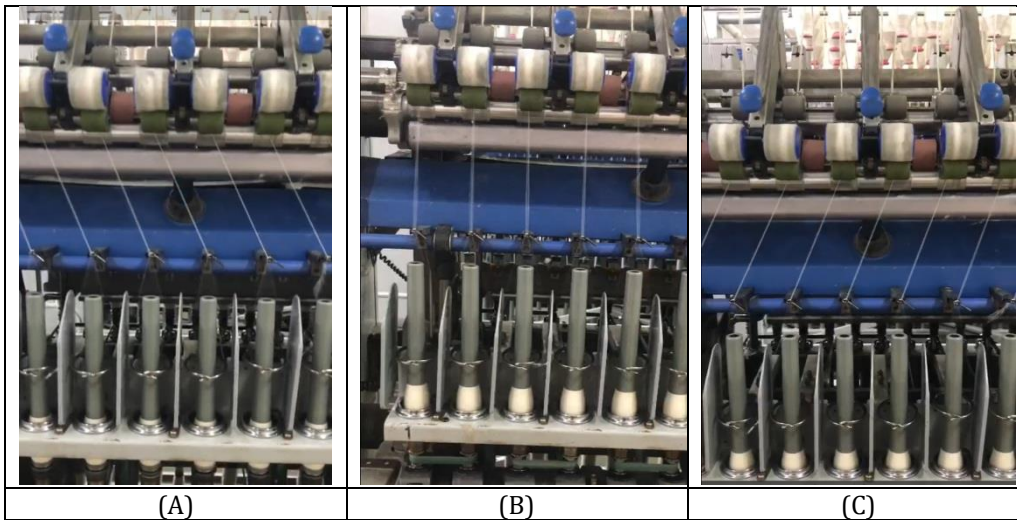
Sol/sağ diyagonal eğirme yöntemi ile iplik üretim denemeleri, kısa şapel iplik üretimi yapan bir işletmede TOYOTA RX240SF konvansiyonel ring iplik makinasında gerçekleştirilmiştir. Konvansiyonel ring iplik makinesinde, farklı elyaf türleri ile Ne 10/1 ile Ne 16/1 iplik numara aralığında triko büküm değerlerinde ring iplik numuneleri üretilmiştir (Tablo 2). Firma bu denemelerde, herhangi bir ilave makine veya cihaz/aparat yatırımı yapmadan mevcut imkanlar ile konvansiyonel ring iplik makinasında iplik tüylülüğü başta olmak üzere diğer iplik özelliklerinde iyileşmeyi sağlamayı amaçlamıştır. İnce iplik üretiminde mekanik kompakt iplik eğirme sisteminin kullanımını tercih ettiği için bu çalışma kapsamında kalın iplik numaralarında deneme yapılmasına odaklanmıştır.

İplik üretim denemelerinde, öncelikle konvansiyonel ring iplik makinesinde çekim sisteminden çıkan çekilmiş elyaf demetine bilezik-kopça ile büküm verilmiş ve iğn üzerinde dönen kopsa sarılmıştır. Normal düzende eğrilen iplikler, referans olarak alınmış ve iplik özelliklerinin değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Çalışmanın devamında, sol/sağ diyagonal eğirme düzeni denemelerine geçilmiştir. Şekil 4A'da görüldüğü gibi çekim sisteminden çıkan elyaf demeti soldan sağa doğru çaprazlanarak, sağ taraftaki iğne doğru yönlendirilmiş ve sağ diyagonal eğirme düzeni olarak adlandırılmıştır. Sağ diyagonal eğirme düzeninde olduğu gibi çekim sisteminden çıkan elyaf demeti sağdan sola çaprazlanarak sol taraftaki iğne doğru yönlendirilmiş ve eğirme yöntemi sol diyagonal eğirme düzeni olarak adlandırılmıştır. Sol/sağ diyagonal ve normal eğirme düzeni denemelerinde çekim, büküm, iğn hızı, kopça türü gibi aynı eğirme parametrelerinin kullanılmasına dikkat edilmiştir. İplik üretim denemelerinde α 3.6-3.7 örme büküm katsayısı yanında özellikle düşük büküm değerlerinin iplik özelliklerine etkisini belirlemek amacıyla α 3.1 ve α 3.4 gibi düşük büküm katsayılarında da çalışılmıştır. Sol/sağ diyagonal ve normal olmak üzere herbir eğirme düzeninden 6 adet kopsa üretilmiştir.

Bobinleme sonrası iplik özelliklerindeki değişimi incelemek amacıyla iplik numuneleri SAVIO POLAR E bobin makinasında 800 m/dak üretim hızında bobinlenmiştir. Özellikle, bobinleme işlemi sonrasında iplik tüylülüğünün artması nedeniyle iplik tüylülüğündeki değişimi analiz etmek amacıyla iplikler bobinleme işleminden geçirilmiş ve iplik özellikleri incelenmiştir.

Tablo 2. İplik numuneleri (Yarn samples)

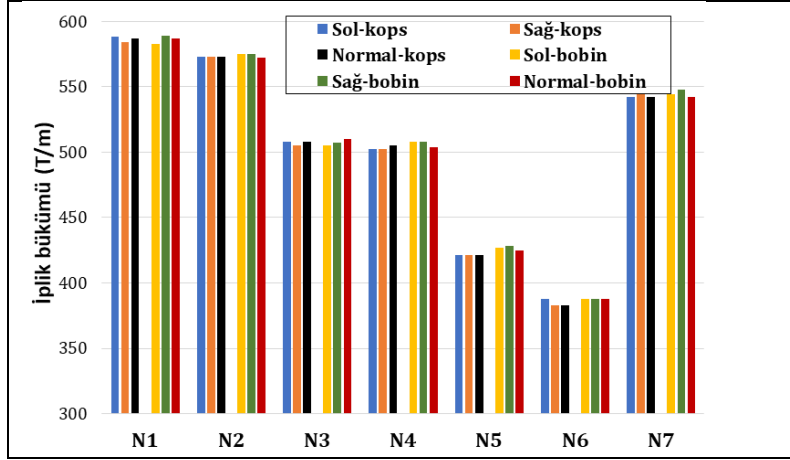
Hammadde	İplik numarası	İplik bükümü	Büküm katsayısı (α)	Numune kodu
%100 organik penye pamuk	Ne 16/1	585 t/m	3.7	N1
%100 karde pamuk	Ne 16/1	570 t/m	3.6	N2
%100 penye pamuk	Ne 12/1	504 t/m	3.7	N3
%50/50 modal/organik pamuk penye	Ne 12/1	504 t/m	3.7	N4
%100 penye pamuk	Ne 8/1	425 t/m	3.8	N5
%100 organik penye pamuk	Ne 10/1	385 t/m	3.1	N6
%100 karde pamuk	Ne 16/1	540 t/m	3.4	N7



Şekil 4. Sağ (A), normal (B) ve sol (C) eğirme düzeni denemeleri (Right (A), normal (B) and left (C) diagonal spinning arrangement)

2.3. Test ve analizler (Test and Analysis)

Çalışma kapsamında üretilen ipliklerin fiziksel özellikleri, çeşitli test cihazlarında test edilmiştir. İpliklerin bobinleme öncesi ve sonrası düzgünlük, ince yer (-%50), kalın yer (+%50), neps (+%200) ve iplik tüylülüğü özellikleri Uster Tester 5 cihazında test edilmiştir. Test uzunluğu 400 m ve test hızı 2.5 m/dak'dır. Bobinleme öncesi ve sonrası ipliklerin, gerilme özellikleri Uster Tensorapid test cihazında test edilmiştir. Çene aralığı 50 cm, test hızı 5 m/dak'dır. İpliklerin bükümü, Uster Zweigle Twist Tester 5 test cihazında bobinleme öncesi ve sonrasında ölçülmüştür. Tüm ölçümler için her bir numuneden 6 adet test yapılmıştır. İpliklerin büküm sonuçları, Şekil 5'te verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, sağ ve sol diyagonal ile normal eğirme düzeni ile üretilen ipliklerin büküm değerleri arasında belirgin bir fark olmadığı gözlenmiştir.



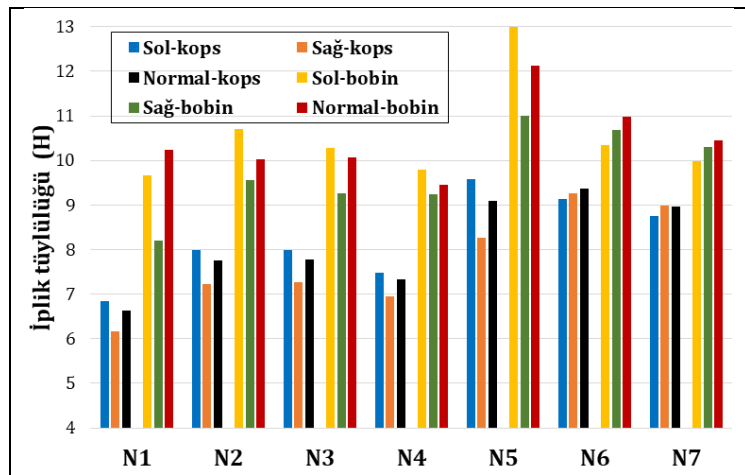
Şekil 5. İplik bükümü test sonuçları (Yarn twist test results)

3. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

İpliklerin fiziksel özelliklerine ait sonuçlar aşağıda verilmiştir. Sonuçların gösteriminde, bobinleme öncesine ait sonuçlar kops, bobinleme sonrasında ait sonuçlar bobin olarak ifade edilmiştir.

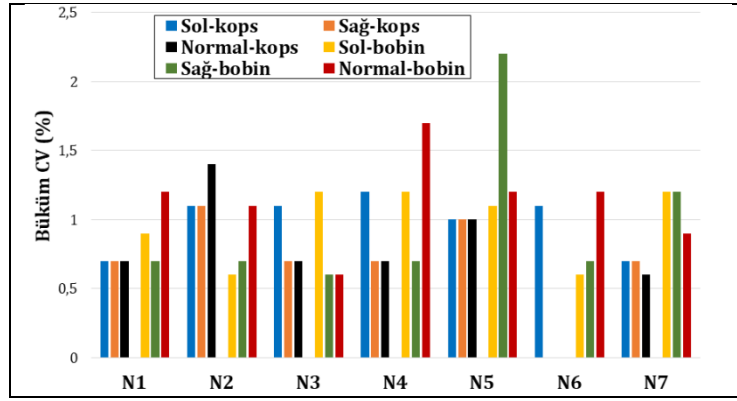
3.1. İplik tüylülüğü sonuçları (Yarn hairiness results)

İpliklere ait Uster H iplik tüylülüğü sonuçları, Şekil 6'da verilmektedir. Sonuçlar incelendiğinde, tüm numunelerde bobinleme öncesi ve sonrasında sağ diyagonal eğirme düzeninde daha düşük Uster H iplik tüylülüğü değerlerinin elde edildiği belirlenmiştir. İplik tüylülüğündeki iyileşme oranı numune türüne göre değişmekle birlikte, genellikle bobinleme öncesinde %1 ile %9, bobinleme sonrasında ise %1.5 ile %9 oranında değiştiği tespit edilmiştir. İyileşme en fazla bobinleme öncesinde N5 kodlu %100 penye pamuk, bobinleme sonrasında ise N1 kodlu %100 organik penye pamuk liflerinden elde edilen ipliklerde gözlenmiştir. En yüksek H değerleri ise numune türüne göre değişmekle birlikte, sol diyagonal ve normal eğirme düzeni ile elde edilen numunelerde belirlenmiştir. Dolayısıyla elde edilen sonuçlar doğrultusunda, sağ diyagonal eğirme düzeninde daha düşük iplik tüylülüğü değerlerinin elde edilmesi mümkün olduğu ve iyileşme oranının genel anlamda yaklaşık olarak %10 düzeyinde olduğu sonucuna ulaşılmaktadır. Bobinleme işlemi sırasında yoğun bir şekilde meydana gelen sürtünme nedeniyle bobinleme sonrasında, beklendiği gibi ipliklerin tüylülük değerlerinin artış eğilimi gösterdiği tespit edilmiştir.



Şekil 6. İplik tüylülüğü test sonuçları (Yarn hairiness test results)

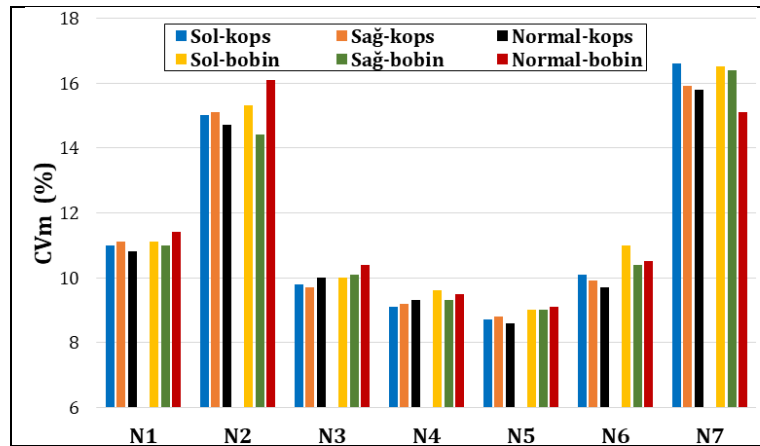
Sağ diyagonal eğirme düzeninin iplik tüylülüğü değerlerinde sağladığı iyileşme etkisi, Wang ve Chang (2003), Wu vd. (2011), ve Singh vd. (2019)'ın bulgularıyla uyumludur. Sağ diyagonal eğirme düzeninde elde edilen daha düşük iplik tüylülüğü değerlerinin açıklanabilmesi için iplik büküm test sonuçları incelenmiştir. Şekil 5'de verilen büküm test sonuçları incelendiğinde, sağ ve sol diyagonal ile normal eğirme düzeni ile üretilen ipliklerin büküm değerleri arasında belirgin bir fark olmadığı gözlenmiştir. Bununla birlikte, ipliklerin büküm değerlerindeki varyasyon değerleri de incelenmiş ve sonuçlar Şekil 7'de verilmiştir. Büküm değerlerindeki varyasyon eğilimi incelendiğinde, bobinleme sonrası N5 kodlu numune hariç diğer tüm numunelerde sol diyagonal ve normal eğirme düzeni ile üretilen ipliklerin büküm değerlerindeki varyasyonun sağ diyagonal eğirme düzeni ile üretilen ipliklerinkine kıyasla daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Bobinleme öncesinde N2 kodlu numunede, bobinleme sonrasında N1, N2, N4 ve N6 kodlu numunelerde normal eğirme düzeni, bobinleme öncesinde N3, N4 ve N6 kodlu numunelerde, bobinleme sonrasında ise N3 kodlu numunede sol diyagonal eğirme düzeni en yüksek büküm varyasyonu değerlerini vermiştir. Dolayısıyla, sol diyagonal ve normal eğirme düzenine kıyasla sağ diyagonal eğirme düzeninde eğirme üçgeni bölgesinde hemen hemen tüm liflerin benzer bir tansiyon altında olması ile daha az tüylü ipliklerin elde edildiği düşünülmektedir (Singh vd., 2019).



Şekil 7. İplik büküm sonuçlarına ait varyasyon değerleri (Variation values of yarn twist results)

3.2. İplik düzgünsüzlüğü sonuçları (Yarn unevenness test results)

Konvansiyonel ring iplik eğirme makinasında normal ve sağ/sol diyagonal eğirme düzeni kullanılarak üretilen ring ipliklere ait iplik düzgünsüzlüğü sonuçları, Şekil 8'de verilmektedir. Sonuçlar incelendiğinde, bobinleme öncesinde N1, N2, N5, N6 ve N7 kodlu numunelerde normal eğirme düzeni, bobinleme sonrasında ise N7 kodlu numune hariç diğer tüm numunelerde sağ diyagonal eğirme düzeninin daha düşük iplik düzgünsüzlüğü (CVm) değerlerini verdiği belirlenmiştir. Ancak, tüm ipliklerin CVm değerleri arasında ciddi anlamda bir fark olmadığı gözlenmiştir. En yüksek CVm değerlerinin ise numune türüne göre değiştiği ve net bir eğilimin olmadığı belirlenmiştir.



Şekil 8. İplik düzgünsüzlüğü test sonuçları (Yarn unevenness test results)

3.3. İplik hataları sonuçları (Yarn imperfections results)

İpliklere ait ince yer (-%50), kalın yer (+%50) ve neps (+%200) değerleri toplanmış ve toplam hata değerleri elde edilmiştir. Tablo 3'de verilen sonuçlar incelendiğinde, bobinleme öncesinde N5 kodlu numune hariç diğer tüm numunelerde, bobinleme sonrasında ise N6 ve N7 kodlu numuneler hariç diğer tüm numunelerde özellikle sağ

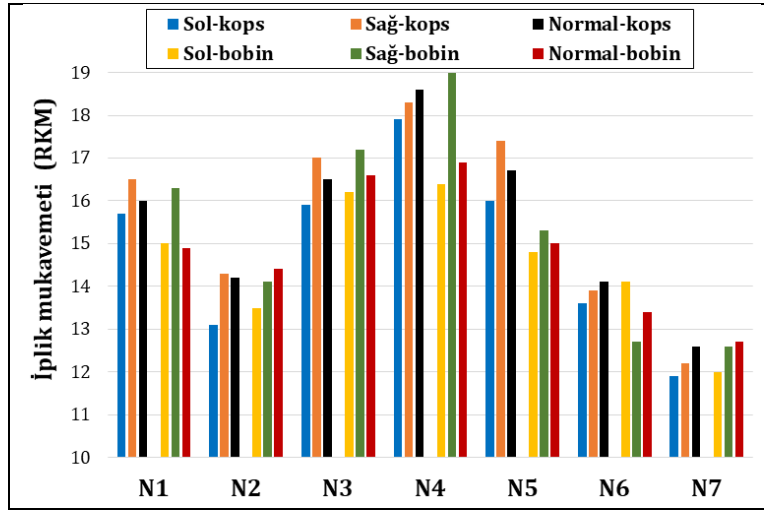
diyagonal eğirme düzeninde daha düşük toplam iplik hata değerlerinin elde edildiği belirlenmiştir. İplik düzgünsüzlüğü ve iplik hata sonuçları doğrultusunda, elyaf türü, iplik numarası ve büküm seviyesine bağlı olarak sağ diyagonal eğirme düzeninin normal eğirme düzeni ile kıyaslanabilir düzgünsüzlük ve iplik hata sonuçları verdiği sonucuna ulaşılmaktadır.

Tablo 3. İpliklere ait toplam hata değerleri (Total yarn imperfections results)

Numune kodu	Bobinleme öncesi			Bobinleme sonrası		
	Sol	Sağ	Normal	Sol	Sağ	Normal
N1	25	18	23	20	21	30
N2	273	258	293	318	205	433
N3	10	7	6	9	7	12
N4	11	10	17	16	11	13
N5	3	7	3	6	6	6
N6	11	8	7	7	14	5
N7	489	387	383	554	487	326

3.4. İplik mukavemeti sonuçları (Yarn tenacity results)

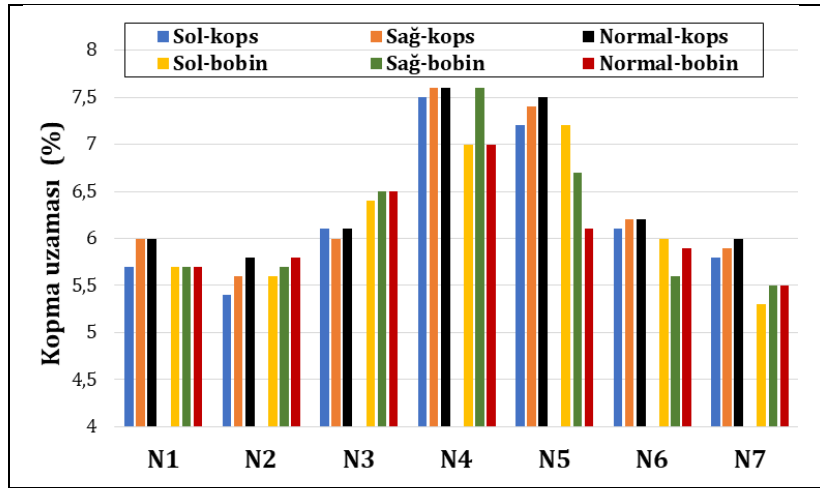
Normal ve sağ/sol diyagonal eğirme düzeni kullanılarak üretilen ipliklerin iplik mukavemeti sonuçları Şekil 9'da görülmektedir. Buna göre, N1, N3, N5 kodlu numunelerde sağ diyagonal eğirme düzeninde üretilen ipliklerin daha yüksek iplik mukavemeti değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir. İplik mukavemeti değerlerindeki iyileşmenin, %1 ile %4 arasında değiştiği gözlenmiştir. Diğer numunelerde ise bobinleme öncesi ve sonrasına göre durum değişmekle birlikte, sağ diyagonal eğirme düzeni ile elde edilen ipliklerin iplik mukavemeti değerlerinin normal eğirme düzeni ile karşılaştırılabilir düzeyde olduğu tespit edilmiştir. Hemen hemen tüm numunelerde sol diyagonal eğirme düzeninin en düşük iplik mukavemeti değerlerini verdiği belirlenmiştir. Literatürde, sağ ve sol diyagonal eğirme düzeninin iplik gerilme özelliklerine etkisi konusunda Thilagavathi vd. (2009) net bir eğilimin olmadığını, Singh vd. (2019) çalışmalarında sağ eğirme düzeninde bir miktar iyileşmenin meydana geldiğini belirtmiştir. Dolayısıyla, bu çalışmada elde edilen sonuçlar literatürle uyumludur. İplik tüylülüğü değerlerindeki iyileşme ile birlikte iplik yapısından daha az sayıda lifin dışarı doğru çıkması ve büküm varyasyonunun daha az olması nedenleriyle iplik mukavemeti değerlerinde az da olsa iyileşmenin meydana geldiği düşünülmektedir.



Şekil 9. İplik mukavemeti test sonuçları (Yarn tenacity test results)

3.5. İplik kopma uzaması sonuçları (Yarn breaking elongation results)

İpliklerin kopma uzaması sonuçları değerlendirildiğinde, net bir eğilim gözlenmezken özellikle sağ ve sol diyagonal ile normal eğirme düzeni ile elde edilen ipliklerin kopma uzaması değerlerinin karşılaştırılabilir düzeyde olduğu belirlenmiştir. Kopma uzaması değerleri arasındaki fark %1-4 arasında değişirken, sol diyagonal eğirme düzenine kıyasla sağ eğirme düzeninin, az da olsa daha yüksek kopma uzaması değerlerini verdiği tespit edilmiştir (Şekil 10).



Şekil 10. İplik kopma uzaması test sonuçları (Yarn breaking elongation test results)

5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Son yıllarda, iplik tüylülüğünün azaltılmasına yönelik kompakt iplik eğirme sistemi, Jetring veya NozzleRing, SolospunTM, sirospun, mekanik yoğunlaştırma gibi çeşitli alternatif iplik eğirme yöntemlerine "sol diyagonal" ve "sağ diyagonal" veya Offset eğirme yöntemi olarak adlandırılan yeni bir yaklaşım eklenmiştir. Bu çalışmada, sol ve sağ diyagonal eğirme düzeninin konvansiyonel iplik eğirmeye karşı umut verici rolünü tam olarak ortaya koymak için bir kısa ştapel iplik işletmesinde farklı elyaf türleri kullanılarak, farklı iplik numaralarında ring iplikler üretilmiş ve iplik kalite değerleri normal eğirme düzeni kullanılarak üretilen ipliklerle karşılaştırılmıştır. Çalışmada, sağ diyagonal eğirme düzeni ile normal eğirme düzenine kıyasla %1 ile %9 arasında değişen oranda daha düşük Uster H iplik tüylülüğü değerlerinin elde edildiği belirlenmiştir. İplik mukavemeti, kopma uzaması, düzgünsüzlüğü ve toplam hata değerlerinin normal eğirme düzeni ile karşılaştırılabilir düzeyde olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte, sağ ve sol diyagonal eğirme düzeninde iplik kopuşu açısından belirgin bir değişim gözlenmemiştir. Çalışmada, farklı elyaf türleri, çeşitli iplik numara ve büküm seviyesi aralığında denemelerin yapılması sonucunda elyaf türü, iplik numara aralığı ve büküm değeri açısından belirgin bir sınırlamamanın bulunmadığı düşünülmektedir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, sağ diyagonal eğirme düzeninin özellikle iplik tüylülüğüne olumlu etkisi gözlenmekle birlikte, sağ diyagonal eğirme yaklaşımının potansiyelini değerlendirebilmek için daha geniş iplik numara ve büküm aralığı ile farklı elyaf türleri ile detaylı denemelerin yapılması gerektiği düşünülmektedir.

Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışma, Uğurlular Tekstil Sanayi ve Ticaret A.Ş (Denizli) firmasında gerçekleştirilmiş olup, ilgili firmaya iplik üretimi, test ve analizlerin gerçekleştirilmesi konusundaki katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

Kaynaklar (References)

- Artzt, P., 2003. Kompakt İplikçiliği Daha Ekonomik Hale Getirmenin Yolları. Tekstil Maraton, Ocak-Şubat, 1, 26-29.
- Klein, W., 1993. Spinning Geometry and its Significance. Int. Textile Bull. Yarn Fabric Forming, 3/93, 22-26.
- Krifa, M., Hequet, E., Ethridge, D., 2002. Compact Spinning: New Potential For Short Staple Cottons. Textile Topics, 2002-2, 2-8.
- Liu, X., Su, X., Wu, T., 2013. Effects of the Horizontal offset of the Ring Spinning Triangle on Yarn. Fibres & Textiles in Eastern Europe, 21, 1(97), 35-40.
- Nikolic, M., Stjepanovic, Z., Lesjak, F., Stritof, A., 2003. Compact Spinning For Improved Quality Of Ring-Spun Yarns. Fibres & Textiles in Eastern Europe, 11, 4(43).
- Oxenham, W., 2003. Spinning Machines at ITMA'03. Journal Of Textile And Apparel, Technology And Management, 3(3), 1-6.
- Sawhney, A.P.S., Kimmel, L.B., 1997. Air and Ring Combination in Tandem Spinning. Textile Research Journal, 67 (3), 217-223.
- Shaikhzadeh Najar, S., 1996. An Analysis Of The Twist Triangle in Ring Spinning. Doktora Tezi. New South Wales Üniversitesi, Avustralya.
- Singh, C., Gordon, S., Wang, X., 2019. The Mechanism Of Hairiness Reduction in Offset Ring Spinning With A Diagonal Yarn Path. Textile Research Journal, 89(8), 1546-1556.
- Stalder, H., 2000. Ring Spinning Advance. Textile Asia, Mart, 43-46.

- Thilagavathi, G., Gukanathan, G., Munusamy, B., 2005. Yarn Hairiness Controlled By Modified Yarn Path in Cotton Ring Spinning. IJFTR, 30(3), 295-301
- Thilagavathi, G., Udayakumar, D., Sasikala, L., Kannaian, T., 2009. Yarn Hairiness Controlled By Various Left Diagonal Yarn Path Offsets By Modified Bottom Roller Flute Blocks in Ring Spinning. IJFTR, 34(4), 328-332
- Wang, X., Miao, M., How, Y., 1997. Studies of JetRing Spinning Part I: Reducing Yarn Hairiness With The JetRing. Textile Research Journal, 67 (4), 253-258.
- Wang, X., Chang, L., 2003. Reducing Yarn Hairiness With A Modified Yam Path in Worsted Ring Spinning. Textile Research Journal, 73(4), 327-332.
- Wu, T., Xie, C., Su, X., Liu, X., Huang, B., 2011. A Modified Ring Spinning System With Various Diagonal Yarn Path Offsets. Procedia Engineering, 18, 1-6.
- Yılmaz, D., 2004. Farklı Kompakt Ring İplik Eğirme Sistemlerinin Ve Elde Edilen İpliklerin Özelliklerinin Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.



ELASTİK ZEMİN ve MANYETİK ALAN ETKİSİ ALTINDAKİ KADEMELİ KİRİŞİN DOĞRUSAL TİTREŞİM ANALİZİ

Burak Emre YAPANMIŞ^{1*}

¹ Ege Üniversitesi, Aliğa Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, İzmir, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Elastik Zemin, Kademeli Kiriş, Manyetik Alan, Pertürbasyon Tekniği, Sürekli Ortam Mekaniği.</i>	Teknolojideki gelişmelerle birlikte farklı kiriş türlerine olan gereksinim artmaktadır. Yaygın olarak kullanılan farklı kiriş türlerinden bir tanesi de kademeli kirişlerdir. Sunulan bu çalışmada önemli yapısal elemanlardan birisi olan kirişin kademeli olması durumu ele alınmıştır. Kademe sayısı olarak tek kademeli durum dikkate alınmış olup kademe oranı ve konumu irdelenmiştir. Çalışmanın temel motivasyon kaynağı kademeli kirişin elastik zemin üzerinde olması ve manyetik alana maruz kalmasıdır. Kademeli kiriş üzerine doğrusal elastik zemin katsayısının ve manyetik alan kuvvetinin etkilerini içeren kapsamlı bir çalışma yürütülmüştür. Farklı mesnet durumları da incelenerek çalışmanın zenginliği artırılmıştır. Belirtilen değişken parametrelerin doğal frekanslar üzerine etkileri üç boyutlu grafikler halinde sunulmuştur. Manyetik alan ve elastik zemin etkisinin doğal frekanslar üzerine önemli bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Kademe oranı ve konumunun etkisi serbest serbest sınır şartlarında en etkili olmasına karşın manyetik alan ve elastik zemin etkisi ankastre serbest sınır şartına sahip durumda daha belirgin olmaktadır.

LINEAR VIBRATION ANALYSIS OF STEPPED BEAM UNDER THE EFFECT OF ELASTIC FOUNDATION AND MAGNETIC FIELD

Keywords	Abstract
<i>Continuum Mechanics, Elastic Foundation, Magnetic Field, Perturbation Technique, Stepped Beam.</i>	The necessity of different beam types is increasing with the advances in technology. One of the different types of beams commonly used is stepped beams. In this context, the presented study deals with the stepped beam, which is one of the essential structural elements. The one-stage situation was taken into account and the stage ratio and position were examined. The main source of motivation for the study is that the stepped beam is on the elastic ground and exposed to a magnetic field. A comprehensive study was carried out on the effects of linear elastic foundation coefficient and magnetic field on the stepped beam. The richness of the study has been increased by examining different support situations. The effects of the specified variable parameters on natural frequencies are presented in three-dimensional graphics. It has been observed that the magnetic field and elastic ground effect have a significant effect on natural frequencies. Although the effect of step ratio and position is most effective in the free-free boundary conditions, the magnetic field and elastic ground effect are more explicit in the case of fixed-free boundary conditions.

Alıntı / Cite

Yapanmış, B. E., (2023). Elastik Zemin ve Manyetik Alan Etkisi Altındaki Kademeli Kirişin Doğrusal Titreşim Analizi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(3), 1109-1119.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

B. Emre YAPANMIŞ, 0000-0003-0499-6581

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	10.01.2023
Kabul Tarihi / Accepted Date	18.07.2023
Yayın Tarihi / Published Date	28.09.2023

* İlgili yazar / Corresponding author: burak.emre.yapanmis@ege.edu.tr, +90-323-616-0671

LINEAR VIBRATION ANALYSIS OF STEPPED BEAM UNDER THE EFFECT OF ELASTIC FOUNDATION AND MAGNETIC FIELD

Burak Emre YAPANMIŞ^{1†}

Department of Machine and Metal Technologies, Aliğa Vocational and Training School, Ege University, Izmir, Turkey

Highlights

- Magnetic force, elastic foundation and boundary conditions have significant effects on beams.
- The change of natural frequencies does not have a linear relationship with the step positions and ratios.
- The step ratio and position are most effective in the free-free boundary conditions however the magnetic field and elastic ground effect are more explicit in the case of fixed-free boundary conditions.

Graphical Abstract

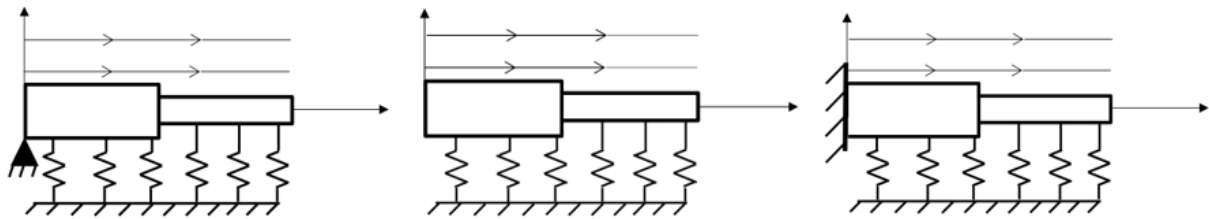


Figure. Stepped Beams with Different Boundary Conditions

Purpose and Scope

This study reveals the significance of magnetic force, stepped ratio and location, elastic foundation and boundary conditions on macro beams. The article's primary purpose is to examine the linear vibration of a stepped beam according to variable parameters.

Design/methodology/approach

The equation of motion is created based on Hamilton's principle. The perturbation method is used to obtain linear equations from the main equations. Before the perturbation technique, the nondimensionalization process is performed. The results are shown in three-dimensional graphs according to variable parameters. A comparison study was conducted to validate the current methods.

Findings

The increase in the magnetic field and elastic foundation coefficient values increases the natural frequencies for simple-free boundary conditions. This trend is the same for free-free boundary conditions. Besides, it is seen that better impact is observed for fixed-free boundary conditions. The natural frequency values decreased by moving the stepped position from the simple support to the free support. This trend is also the same from fixed support to free support. However, the variation of the curve is quite different for free-free boundary conditions.

Originality

There is very much work on stepped beams in literature. However magnetic field effect and elastic foundation impact on stepped beam have not been studied yet. In addition, different boundary conditions have enriched the study.

[†] Corresponding author: burak.emre.yapanmis@ege.edu.tr, +90-323-616-0671

1. Giriş (Introduction)

Yapısal elemanların titreşim analizleri mühendislik çalışmalarının tasarım kriterlerinde dikkate alınması gereken önemli bir parametredir. Yapıların doğal frekanslarının bilinmesi rezonans durumlarından kaçınılması açısından hayati öneme sahiptir. Yapısal eleman olarak mühendislik uygulamalarında kiriş, plaka, çubuk, kabuk vd. türler sıklıkla kullanılmaktadır. Bahsedilen yapısal elemanlar kendi aralarında farklı uygulama alanlarına göre alt başlıklara ayrılmaktadır. Örneğin; kirişler kademeli, makro, mikro, değişken kesitli olarak kendi içerisinde sınıflandırılmaktadırlar. Bu çalışmada kademeli kiriş formu ele alınmıştır. Kademeli kirişler köprüler, uzun binalar, robot kolları, şaft ve miller gibi dönen elemanlarda yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Kademeli kirişler gibi süreksizliğe sahip kirişler düzgün kirişlere göre kuvvetin daha iyi dağıtılması vb. nedenlerden dolayı havacılık, mimari, robot teknolojisi gibi bazı uygulama alanlarında kendilerine sıklıkla yer bulabilmektedirler (Taşkın vd., 2021).

Mühendislik çalışmalarında kirişler ile ilgili incelemeler çok uzun yıllardır gerçekleştirilmektedir. Kademeli kirişler ile ilgili çalışmalar ise birkaç on yıldır yapılmaktadır. Bilinen ilk kademeli kiriş çalışması Taleb ve Suppiger (1961) tarafından gerçekleştirilmiştir. Kademeli kirişler ile ilgili yapılan öncü çalışmalardan bir tanesi de Bert ve Newberry (1986) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada farklı kademe oranları ve sınır şartları altında enerji yöntemleri kullanılarak elde edilen doğal frekanslar karşılaştırılmıştır. Lee ve Bergman (1994), kademeli Euler-Bernoulli kirişin serbest ve zorlamalı titreşim davranışlarını incelemiştir. Hareket denklemleri dinamik esneklik metodu kullanılarak elde edilmiş olup zorlamalı ve serbest titreşim durumlarına ait farklı modların doğal frekanslarını ve mod şekillerini belirlemiştir. Naguleswaran (2003), üç kademeli ve her kademe farklı aksel yüküne maruz kalan kademeli kirişin titreşim ve stabilite analizini gerçekleştirmiştir. Birim uzunluk başına kütle, eğilme rijitliğinin, kademe pozisyonunun ve aksel yükün doğal frekanslara etkisini sonlu elemanlar metodu kullanarak tablolar halinde sunmuştur. Lu vd. (2009), çok kademeli kompozit kiriş modelinin titreşim davranışını incelemiştir. Kompozit element metodunu kullanarak elde ettikleri doğal frekansları reseptör fonksiyon yöntemi, Rayleigh Ritz ve sonlu elemanlar yöntemleri ile kıyaslamışlardır. Kompozit element metodunun farklı kademe durumuna sahip kirişlere uygulanabilirliğini kanıtlamak çalışmalarının temel amacını oluşturmaktadır. Özkaya ve Tekin (2007) yapmış oldukları çalışmada farklı sınır şartları altındaki kademeli kirişin doğrusal olmayan titreşim davranışını incelemiştir. Kademe oranı ve konumunun, kademe sayısının, sınır şartlarının doğrusal olmayan doğal frekanslara etkisini araştırmışlardır. Bağdatlı vd. (2009), yapay sinir ağları programı kullanarak çok kademeli kirişin doğrusal olmayan davranışını incelemiştir. Tekin vd. (2009), çok kademeli kirişin üçe bir iç rezonans durumunu incelemiştir. Hareket denklemlerini pertürbasyon yöntemi ve Hamilton prensibini kullanarak elde etmişlerdir. İç rezonans modlarına ait kuvvet ve frekans eğri grafikleri analiz edilmiştir. Cheng vd. (2014), tekillik fonksiyonunu kullanarak kademeli kirişin titreşim, statik deplasman ve duyarlılık analizlerini yapmışlardır. Titreşim problemleri için sonlu elemanlar metodunu kullanmışlar ve tekillik fonksiyonu ile farklı sınır şartlarındaki doğal frekansları karşılaştırmışlardır. Taşkın vd. (2021), farklı sınır şartlarına sahip değişken kesitli kirişin doğal frekanslarını ve mod şekillerini incelemiştir. Hareket denklemlerini Euler-Bernoulli kiriş teorisini kullanarak Hamilton prensibi ile elde etmişlerdir. Farklı eğrilik katsayısı ve kiriş uzunluklarının doğal frekansa etkilerini incelemiştir. Nalbant vd. (2023) kademeli nano kirişi yerel olmayan elastisite teorisine göre modelleyerek doğrusal titreşim davranışını incelemiştir.

Elastik zemin ile ilgili literatürdeki çalışmalar ise şöyledir. Wang (1991), elastik zemin üzerindeki kademeli kirişleri incelemiştir. Farklı zemin katsayısına ait basit basit ve serbest serbest mesnete sahip kademeli kirişin ilk iki doğal frekanslarını elde etmişlerdir. Kural ve Özkaya (2015), akışkan taşıyan elastik zemin üzerindeki mikro kirişin titreşim hareketini araştırmışlardır. Klasik kiriş ve modifiye edilmiş gerilme çifti teorisini karşılaştırmışlardır. Akış hızı, zemin katsayısı, mikro kirişlik katsayısının doğal frekanslar üzerindeki etkilerini göstermişlerdir. Nesic vd. (2022), farklı sınır şartları altındaki Winkler zemin tipi üzerindeki iki kademeli kirişin farklı modlarını incelemiştir. Literatürde manyetik alan etkisi altındaki kirişlerin titreşim davranışları da incelenmiştir. Arani vd. (2015), iki boyutlu manyetik alan altındaki içerisinde nano ve mikro yapıları taşıyan Timoshenko kirişin doğrusal olmayan titreşim davranışını incelemiştir. Yüksek mertebeli yönetici denklemlerini Hamilton prensibi ile elde etmişler enerji ve diferansiyel kareleme metotları ile çözmüşlerdir. Doğrusal sonuçları Galerkin metodu ile karşılaştırmışlardır. Chang (2016), yerel olmayan elastisite teorisine dayalı olarak modellediği manyetik alan etkisi altındaki nano kirişin doğrusal olmayan serbest titreşim davranışını incelemiştir. Jandaghian ve Rahmani (2016), Pasternak zemin üzerindeki nano kirişin serbest titreşimini incelemiştir. Kiriş, yerel olmayan teori ve Timoshenko kiriş teorisine dayandırılarak modellenmiştir. Nano kirişin manyetik, elektrik, mekanik ve termal yükler altındaki titreşim karakterini irdelenmiştir. Tang vd. (2021), fonksiyonel olarak derecelendirilmiş nano kirişin manyetik ve elektriksel alan altındaki dinamik davranışlarını incelemiştir. Timoshenko kiriş modelini kullanarak hareket denklemlerini Hamilton prensibiyle elde edip genelleştirilmiş diferansiyel kareleme metodu ile çözmüşlerdir. Esen vd. (2022), termal ve manyetik alana maruz bırakılmış fonksiyonel derecelendirilmiş nano kirişin serbest titreşim ve burkulma davranışı üzerinde

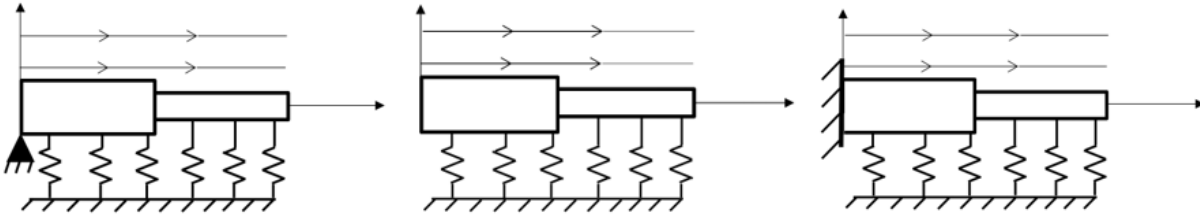
çalışmışlardır. Timoshenko nano kirişi gerinme gradyan ve yerel olmayan teoriye göre modelleyip hareket denklemlerini Navier tipi yaklaşım ile çözmüşlerdir.

Kirişler üzerine literatürde daha birçok farklı çalışma yer almaktadır. Atcı ve Bağdatlı (2017), ideal olmayan sınır şartlı akışkan taşıyan mikro kirişin titreşim hareketini araştırmışlardır. Hamilton prensibi ile elde ettikleri hareket denklemlerini çok ölçekli metot ile çözmüşlerdir. Frekans tepki eğrileri çizilerek ideal olmayan sınır şartı etkilerini incelemişlerdir. Kural (2018), akışkan taşıyan mikro kirişin üçe bir ve ikiye bir iç rezonanslarını inceleyen bir çalışma yapmıştır. Yapanmış (2022), farklı sınır şartları altında kütle taşıyan mikro kirişin doğrusal olmayan titreşim hareketini ve üçe bir iç rezonans durumunu incelemiştir. Atcı ve Bağdatlı (2018), ideal olmayan farklı sınır şartlarına sahip mikro kirişin temel parametrik rezonans frekansları üzerine çalışmışlardır. Kural (2020), ortadan yaylı aksel hareket eden sicim titreşim hareketini modellemiştir. Sicim rijitliğinin, hızının, yay katsayısının ve konumunun doğal frekansa etkilerini grafikler halinde sunmuştur. Atcı (2021), ideal olmayan sınır şartına sahip nano kirişin modifiye edilmiş gerilme teorisine göre modelleyerek serbest titreşimini incelemiştir. Yapanmış ve Bağdatlı (2022), çok mesnetli nano kirişin doğrusal olmayan titreşim hareketini ve iç rezonans durumunu araştırmışlardır.

Literatürde görüldüğü gibi kirişler üzerinde elastik zemin ve manyetik alan etkisinin aynı anda incelenmesi çok fazla rastlanan bir durum değildir. Özellikle kademeli kiriş üzerinde bu tarz bir çalışmanın yapılmaması yazar için büyük motivasyon kaynağı olmuştur. Bu doğrultuda sunulan çalışma kapsamında tek kademeli makro kirişin manyetik alan ve elastik zemin üzerindeki doğrusal titreşim davranışları incelenmiştir. Kademeli kiriş basit-serbest, serbest-serbest ve ankastre-serbest sınır şartları altında modellenerek farklı sınır şartlarının doğal frekansa etkileri irdelenmiştir. Sonuçlar değişken parametrelere göre üç boyutlu grafikler halinde sunulmuştur. Mevcut formülasyon ve çözümleri doğrulamak amacıyla karşılaştırma çalışması yapılmıştır.

2. Sayısal Hesaplamalar (Numerical Study)

Bu bölümde kademeli kirişin matematiksel modeli oluşturulmuş ve doğrusal hareket denklemleri elde edilmiştir. İlgilenilen farklı sınır şartlarına sahip elastik zemin ve manyetik alan içerisindeki kademeli kiriş görseli Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Farklı sınır şartlarına sahip elastik zemin ve manyetik alan etkisi altındaki kademeli kiriş görselleri a) Basit-Serbest, b) Serbest-Serbest, c) Ankastre-Serbest

Hareket denklemlerinin elde edilmesi için Hamilton prensibine başvurulmuştur. Hamilton prensibi Eşitlik 1’de gösterildiği gibi kinetik ve potansiyel enerji ilişkisine dayanmaktadır.

$$L = T - V \quad (1)$$

Sistemin kinetik ve potansiyel enerji terimlerinin Hamilton prensibi içerisinde yerlerine yazılmasıyla elde edilen ifade Eşitlik 2’de verilmiştir.

$$\delta \int_{t_1}^{t_2} \left(\frac{1}{2} \int_0^{x_1} \rho A (y_{1,t}^2) dx + \frac{1}{2} \int_{x_1}^L \rho A (y_{2,t}^2) dx - \frac{1}{2} \int_0^{x_1} EI_1 (y_{1,xx}^2) dx - \frac{1}{2} \int_{x_1}^L EI_2 (y_{2,xx}^2) dx - \frac{1}{2} \int_0^{x_1} EA_1 \left(u_{1,x} + \frac{1}{2} y_{1,x}^2 \right)^2 dx - \frac{1}{2} \int_{x_1}^L EA_2 \left(u_{2,x} + \frac{1}{2} y_{2,x}^2 \right)^2 dx - \frac{1}{2} \int_0^{x_1} k_1 y_1^2 dx - \frac{1}{2} \int_{x_1}^L k_2 y_2^2 dx \right) dt = 0 \quad (2)$$

Burada ρ yoğunluk, E elastisite modülü, A kesit alanı, I alan atalet modülü, k_1 doğrusal zemin katsayısı, y enine u ise boyuna uzama terimlerini, L kirişin tam boyunu, x_s kademe konumunu belirtmektedir. Denklemlerdeki, t ve x ifadeleri sırasıyla zamana ve konuma bağlı türevleri ifade etmektedir. Varyasyonel ifade (δ) Eşitlik 3’te olduğu gibi denklem içerisine dağıtılır.

$$\int_{t_1}^{t_2} \left(\int_0^{x_s} \rho A y_{1,t} \delta y_{1,t} dx - \frac{1}{2} \int_0^{x_s} k_l y_1 \delta y_1 dx - \int_0^{x_s} EI_1 y_{1,xxx} \delta y_{1,xxx} dx - \frac{1}{2} \int_0^{x_s} EA_1 \left(u_{1,x} + \frac{1}{2} y_{1,x}^2 \right) \delta \left(u_{1,x} + \frac{1}{2} y_{1,x}^2 \right) dx \right. \\ \left. + \int_{x_s}^L \rho A y_{2,t} \delta y_{2,t} dx - \frac{1}{2} \int_{x_s}^L k_l y_2 \delta y_2 dx - \int_{x_s}^L EI_2 y_{2,xxx} \delta y_{2,xxx} dx - \frac{1}{2} \int_{x_s}^L EA_2 \left(u_{2,x} + \frac{1}{2} y_{2,x}^2 \right) \delta \left(u_{2,x} + \frac{1}{2} y_{2,x}^2 \right) dx \right) dt = 0 \quad (3)$$

Eşitlik 3'teki ifade de bulunan her bir terim esasen çift katlı integraldir. Varyasyonel ifadelerden kurtulmak için kısmi integrasyon işlemleri gerçekleştirilerek çift katlı integrallerden hareket denklemleri ve tek katlı integrallerden ise sınır şartları denklemleri elde edilir. Gerekli matematiksel düzenlemeler yapıldıktan sonra tek kademeli manyetik alan ve elastik zemin üzerindeki kirişin hareket denklemleri Eşitlik 4'te olduğu gibi elde edilir.

$$\int_{t_1}^{t_2} \int_0^{x_s} \left(-\rho A_1 y_{1,tt} - EI_1 y_{1,xxxx} + EA_1 \left(\left(u_{1,x} + \frac{1}{2} y_{1,x}^2 \right) y_{1,x} \right)_x - \frac{1}{2} k_l y_1 \right) \delta y_1 dx dt \\ + \int_{t_1}^{t_2} \int_{x_s}^L \left(-\rho A_2 y_{2,tt} - EI_2 y_{2,xxxx} + EA_2 \left(\left(u_{2,x} + \frac{1}{2} y_{2,x}^2 \right) y_{2,x} \right)_x - \frac{1}{2} k_l y_2 \right) \delta y_2 dx dt \quad (4) \\ + \int_{t_1}^{t_2} \int_0^{x_s} EA_1 \left(u_{1,x} + \frac{1}{2} y_{1,x}^2 \right)_x \delta u_1 dx dt + \int_{t_1}^{t_2} \int_{x_s}^L EA_2 \left(\left(u_{2,x} + \frac{1}{2} y_{2,x}^2 \right) \right)_x \delta u_2 dx dt = 0$$

Eşitlik 4 incelendiğinde enine uzama terimleri ile boyuna uzama terimlerinin ayrı ayrı incelenmesi gerektiği görülmektedir. Denklemlerin genel olarak irdelenmesiyle her bir çift katlı integrallerin sıfıra eşit olduğu görülecektir. Çift katlı integrallerden elde edilen boyuna uzama terimlerine sahip hareket denklemleri integre edilir. İntegre edilen terimlerden ve sınır şartlarından gelen süreklilik durumları dikkate alınarak

$$A_1 \left(u_{1,x} (x_s) + \frac{1}{2} y_{1,x}^2 (x_s) \right) = A_2 \left(u_{2,x} (x_s) + \frac{1}{2} y_{2,x}^2 (x_s) \right) \quad (5)$$

olduğu görülecektir. Eşitlik 5'te görüldüğü gibi kademe konumunda kesit alanlarının farklı olmasına rağmen enine ve boyuna yer değiştirme miktarları aynıdır. Eşitlik 5'teki ifadeler tekrar integre edilip taraf tarafa toplanması durumunda Eşitlik 6'daki gibi bir yapı elde edilir.

$$EA_1 \left(\left(u_{1,x} + \frac{1}{2} y_{1,x}^2 \right) y_{1,x} \right)_x = \frac{A_1}{2 \left((x_s) + \frac{(L-x_s)}{A_2/A_1} \right)} \left[\int_0^{x_s} y_{1,x}^2 dx + \int_{x_s}^L y_{2,x}^2 dx \right] \quad (6)$$

Eşitlik 6'daki ifadede bulunan kesit alanları arasındaki ifade $\frac{A_2}{A_1} = \psi^2$ olarak verilebilir. Hareket denklemindeki ifadeler malzeme özelliği ve geometrik parametrelerden arındırılmak için boyutsuzlaştırma işlemine tabi tutulur. Fakat öncelikle genel hareket denklemlerine manyetik alan terimi eklenir.

$$\rho A_1 y_{1,tt} + EI_1 y_{1,xxxx} + \frac{1}{2} k_l y_1 = EA_1 \left(\left(u_{1,x} + \frac{1}{2} y_{1,x}^2 \right) y_{1,x} \right)_x + q_1(x,t) \quad (7)$$

$$\rho A_2 y_{2,tt} + EI_2 y_{2,xxxx} + \frac{1}{2} k_l y_2 = EA_2 \left(\left(u_{2,x} + \frac{1}{2} y_{2,x}^2 \right) y_{2,x} \right)_x + q_2(x,t) \quad (8)$$

Eşitlik 7 ve 8'de verilen hareket denklemleri boyutsuzlaştırma işlemine tabi tutulur. Burada yapılan dönüşümler $x^* = \frac{x}{L}$, $y_{1,2}^* = \frac{y_{1,2}}{r_{1,2}}$, $t^* = \beta t$, $\eta = \frac{x_s}{L}$, $K_l = \frac{k_l L^4}{2EI_1}$, $Q = \xi Q_x \frac{A_1 L^2}{EI_1}$ şeklindedir. Boyutsuzlaştırma işlemi uygulanan hareket denklemleri Eşitlik 9 ve 10'daki gibidir.

$$\rho A_1 r_1 \beta^2 y_{1,tt}^* + EI_1 \frac{r_1}{L^4} y_{1,xxxx}^* + \frac{1}{2} k_l r_1 y_1^* = \mu A_1 Q_x y_{1,xx}^* + \frac{EA_1}{2 \left((x_s) + \frac{(L-x_s)}{\psi^2} \right)} \left[\int_0^{x_s} \frac{r_1^2}{L} y_{1,x}^{*2} dx^* + \int_{x_s}^L \frac{r_2^2}{L} y_{2,x}^{*2} dx^* \right] \frac{r_1}{L^2} y_{1,xx}^* \quad (9)$$

$$\rho A_2 r_2 \beta^2 y_{2,tt}^* + EI_2 \frac{r_2}{L^4} y_{2,xxxx}^* + \frac{1}{2} k_l r_2 y_2^* = \mu A_2 Q_x y_{2,xx}^* + \frac{EA_1}{2 \left((x_s) + \frac{(L-x_s)}{\psi^2} \right)} \left[\int_0^{x_s} \frac{r_1^2}{L} y_{1,x}^{*2} dx^* + \int_{x_s}^L \frac{r_2^2}{L} y_{2,x}^{*2} dx^* \right] \frac{r_2}{L^2} y_{2,xx}^* \quad (10)$$

Gerekli sadeleştirilmeler yapıлып zorlama ve sönüm terimi eklenmiş hareket denklemleri Eşitlik 11 ve 12'deki gibi olmaktadır.

$$y_{1,tt}^* + y_{1,xxxx}^* + K_l y_1^* = Q y_{1,xx}^* + \bar{F}_1 \cos(\Omega t) - 2\bar{\mu} y_{1,x}^* + \frac{1}{2 \left((\eta) + \frac{(1-\eta)}{\psi^2} \right)} \left[\int_0^\eta y_{1,x}^{*2} dx^* + \psi^2 \int_\eta^1 y_{2,x}^{*2} dx^* \right] y_{1,xx}^* \quad (11)$$

$$y_{2,tt}^* + \psi^2 y_{2,xxxx}^* + \frac{1}{\psi^2} K_l y_2^* = Q y_{2,xx}^* + \bar{F}_2 \cos(\Omega t) - 2\bar{\mu} y_{2,x}^* + \frac{1}{2 \left((\eta) + \frac{(1-\eta)}{\psi^2} \right)} \psi^2 \left[\int_0^\eta y_{1,x}^{*2} dx^* + \int_\eta^1 y_{2,x}^{*2} dx^* \right] y_{2,xx}^* \quad (12)$$

Hareket denklemlerinden doğrusal hareket denklemlerinin elde edilmesi için pertürbasyon yöntemi kullanılmıştır. Pertürbasyon metodu için $y_1^* = \varepsilon y_{11}^* + \varepsilon^3 y_{13}^*$ ve $y_2^* = \varepsilon y_{21}^* + \varepsilon^3 y_{23}^*$ açılımları yapılır. Zorlama ve sönüm terimlerinin doğrusal olmayan mertebeye kalabilmesi için çok küçük yakınsama terimi ile çarpılması gerekmektedir. Gerekli matematiksel işlemler yapıldıktan sonra iki bölge için elde edilen doğrusal hareket denklemleri aşağıdaki gibidir;

$$D_0^2 y_{11}^* + y_{11,xxxx}^* + K_l y_{11}^* - Q y_{11,xx}^* = 0 \quad (13)$$

$$D_0^2 y_{21}^* + \psi^2 y_{21,xxxx}^* + \frac{1}{\psi^2} K_l y_{21}^* - Q y_{21,xx}^* = 0 \quad (14)$$

Doğrusal hareket denklemlerini çözebilmek için her bir kademe durumu için $y_{11} = [Ae^{i\omega t_0} + ke] Y_1$ ve $y_{21} = [Ae^{i\omega t_0} + ke] Y_2$ şeklinde doğrusal çözüm kabulleri yapılır. Çözüm önerisinin hareket denklemlerinde yerine yazılıp gerekli sadeleştirmelerin yapılması ile elde edilen denklemler;

$$Y_1^{iv}(x) - \omega^2 Y_1(x) + K_l Y_1(x) - Q Y_1''(x) = 0 \quad (15)$$

$$\psi^2 Y_2^{iv}(x) - \omega^2 Y_2(x) + \frac{1}{\psi^2} K_l Y_2(x) - Q Y_2''(x) = 0 \quad (16)$$

şekindedir. Eşitlik 15 ve 16 sadece konum değişkenlerine sahiptir. Bu durum için çözüm önerileri aşağıdaki gibi olabilir.

$$Y_1(x) = x_1 e^{ic_1 x} + x_2 e^{ic_2 x} + x_3 e^{ic_3 x} + x_4 e^{ic_4 x} \quad (17)$$

$$Y_2(x) = x_1 e^{ic_5 x} + x_2 e^{ic_6 x} + x_3 e^{ic_7 x} + x_4 e^{ic_8 x} \quad (18)$$

Çözüm önerileri ve konuma göre türevleri Eşitlik 15 ve 16'da yerlerine yazılması durumunda saçılma denklemleri Eşitlik 19 ve 20'deki gibi olmaktadır.

$$c_i^4 + Q c_i^2 + K_l - \omega^2 = 0 \quad i = 1, 2, 3, 4 \quad (19)$$

$$y^4 c_i^4 + \frac{Q}{\psi^2} y^2 c_i^2 + \frac{1}{\psi^4} K_l - \frac{\omega^2}{\psi^2} = 0 \quad i = 5, 6, 7, 8 \quad (20)$$

Burada c_i değerleri denklemlerin köklerini oluşturmaktadır. Sabit değerler ve sınır şartlarının yerlerine yazılması ile katsayılar matrisi elde edilir. Elde edilen bu matrisin determinantını sıfır yapan değerler sistemin doğrusal doğal frekans değerlerini verecektir.

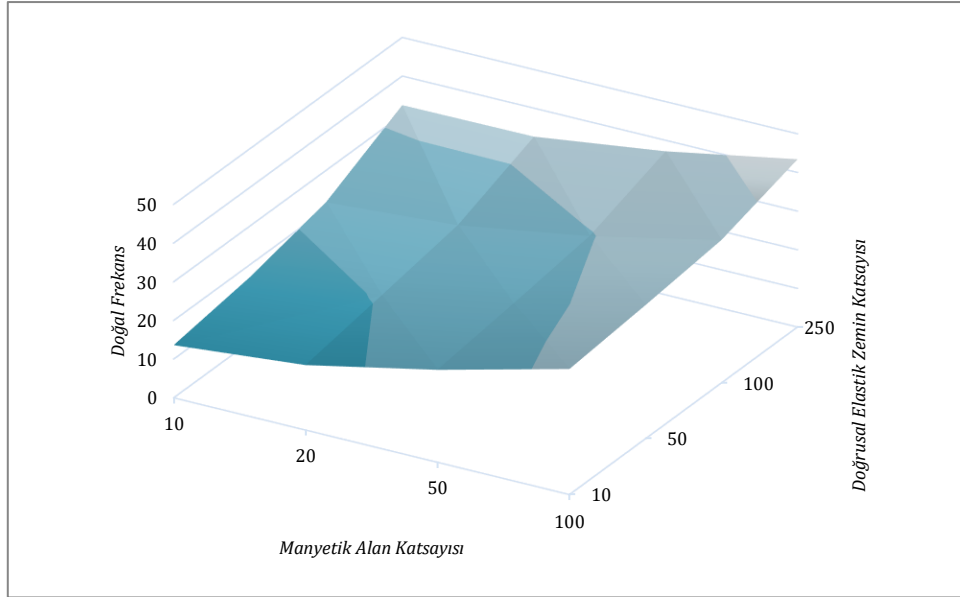
3. Bulgular (Results)

Bu bölümde kademeli kiriş örneğinin sayısal sonuçlarına yer verilmiştir. Sayısal sonuçlar sunulmadan önce kullanılan yöntemin güvenilirliğini kanıtlamak amacıyla doğrulama çalışması yapılmıştır. Tablo 1'de mevcut yöntemin ankastre serbest sınır şartlarına sahip makro kirişin farklı kademe oranlarına göre literatürde daha önceden yapılmış iki farklı çalışma ile karşılaştırmaları sunulmuştur. Karşılaştırma çalışmalarındaki kademe konumu 0.5'tir. Sonuçlar arasında iyi bir uyum olduğu Tablo 1'de açıkça görülmektedir.

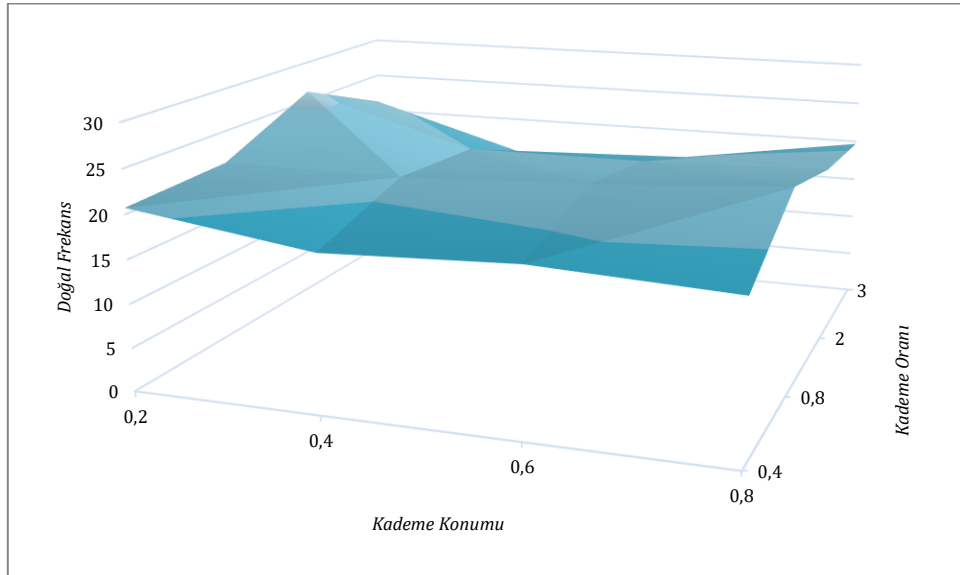
Tablo 1. Ankastre serbest sınır şartlarına sahip makro kirişin farklı kademe oranlarına göre doğrulama çalışması

Sınır Şartları	Kademe Oranı	Jang ve Bert (1989)	Chicurel ve Suppiger (1961)	Mevcut Çalışma
Ankastre-Serbest	1	3.516	3.5173	3.5160
	1.778	2.0629	2.0630	2.0632
	2.114	1.7418	1.7418	1.742

Sunulan çalışmadaki değişken parametreler olarak kademe konumu ve oranı kademeli kirişin temel değişkenleridir. Bunların yanı sıra manyetik alan ve doğrusal elastik zemin etkilerinin doğrusal doğal frekans üzerindeki etkileri incelenmiştir. Sınır şartları için basit serbest (B-S), ankastre serbest (A-S), ve serbest serbest (S-S) olmak üzere üç farklı durum irdelenmiştir. Şekil 2 ve 3'te B-S sınır koşullarına ait değişken parametrelere göre doğal frekanslardaki değişimler gösterilmiştir.

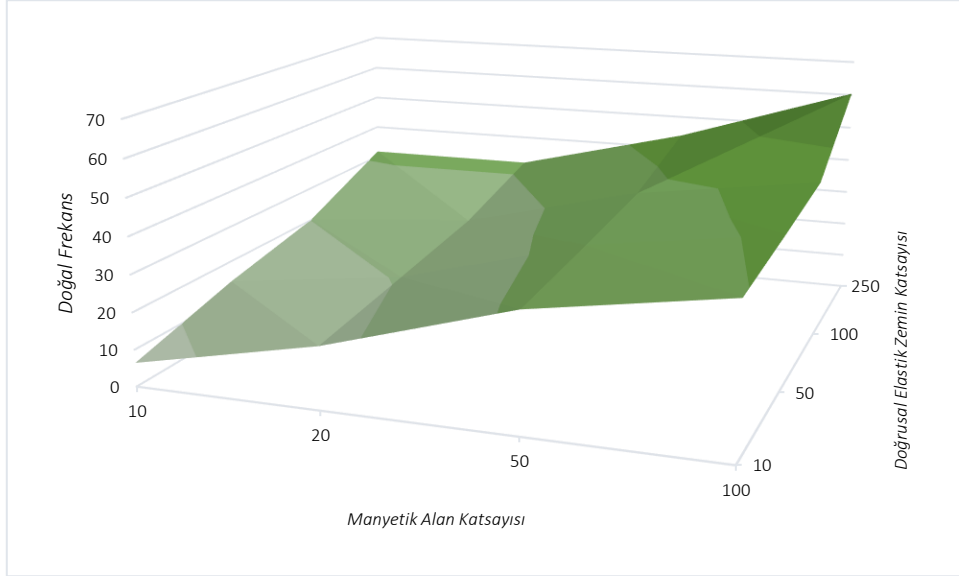


Şekil 2. Farklı manyetik alan ve elastik zemin katsayılarına göre B-S sınır şartı altındaki doğal frekans değişimleri

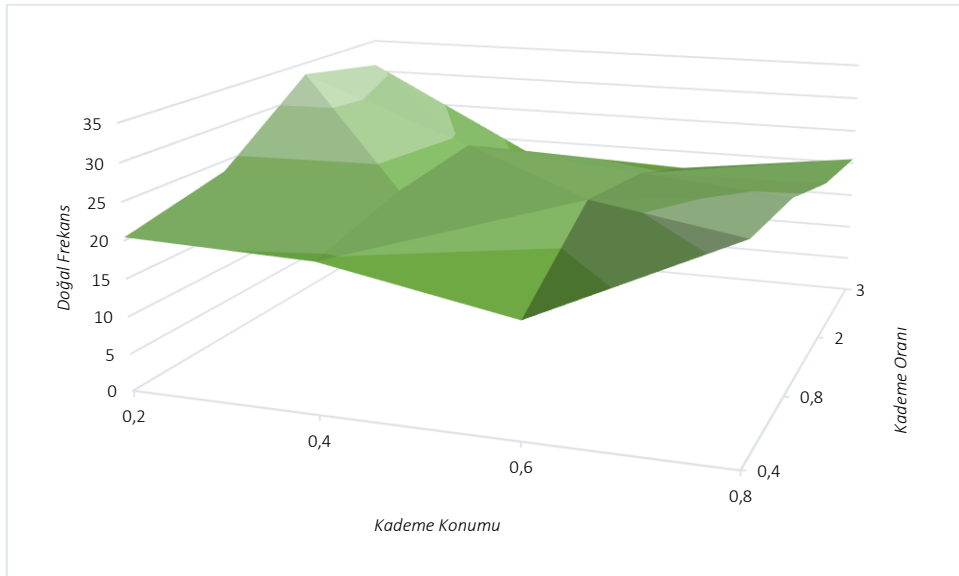


Şekil 3. Farklı kademe konumu ve oranlarına göre B-S sınır şartı altındaki doğal frekans değişimleri

Şekil 2 incelendiğinde kademeli kiriş için doğrusal elastik zemin ve manyetik alan katsayılarının doğal frekanslar üzerinde belirgin bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. Şekil 2’de net bir şekilde görülmektedir ki manyetik alan ve elastik zemin katsayı değerlerindeki artış doğal frekans değerlerini arttırmaktadır. Şekil 3’te kademe konumunun ve oranının doğal frekanslar üzerindeki etkileri gösterilmiştir. Kademe konumunun basit mesnetten serbest mesnete doğru ilerletilmesiyle doğal frekans değerlerinde düşüşler meydana gelmiştir. Kademe oranı incelendiğinde kademe oranında artması ya da azalmasıyla doğal frekanslarda düşüş görülmektedir. Şekil 4 ve 5’te ankastre serbest sınır koşullarına sahip kirişin değişken parametrelere göre doğal frekanslardaki değişimlerine yer verilmiştir.

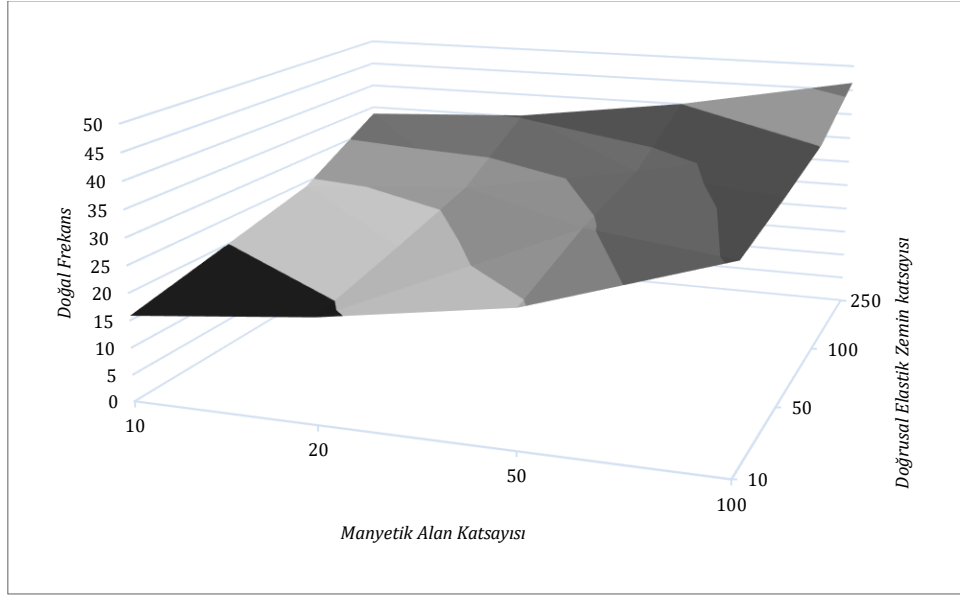


Şekil 4. Farklı manyetik alan ve elastik zemin katsayılarına göre A-S sınır şartı altındaki doğal frekans değişimleri

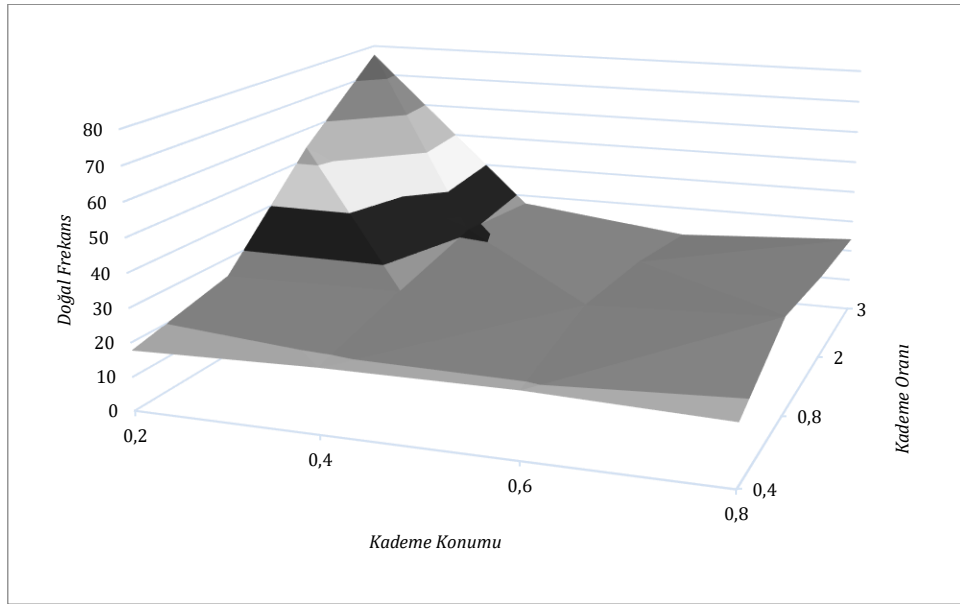


Şekil 5. Farklı kademe konumu ve oranlarına göre A-S sınır şartı altındaki doğal frekans değişimleri

Şekil 4’te A-S mesnetlere sahip tek kademeli kirişteki manyetik alan ve elastik zemin etkileri gösterilmiştir. İncelendiğinde manyetik alan ve elastik zemin katsayılarının artmasıyla doğal frekanslar üzerindeki artışların B-S serbest sınır şartlarına sahip kirişin doğal frekans değerlerindeki artışlardan daha fark edilebilir olduğu görülmüştür. Şekil 5’te ise A-S sınır şartına sahip kirişin kademe konumu ve oranının doğal frekanslar üzerindeki etkileri gösterilmiştir. Kademe konumu incelendiğinde ankastre mesnetten serbest mesnete doğru olan geçişte doğal frekans değerlerinde bir azalma olduğu fakat kademe durumunun serbest uç kısma yakın olması durumunda doğal frekansların az miktarda arttığı fark edilmiştir. Kademe oranları incelendiğinde kademe oranındaki artışın doğal frekanslarda artışa sebep olduğu yorumlanabilmektedir. Şekil 6 ve 7’de S-S sınır koşullarına sahip kirişin değişken parametrelere göre doğal frekanslardaki değişimleri gösterilmektedir.



Şekil 6. Farklı manyetik alan ve elastik zemin katsayılarına göre S-S sınır şartı altındaki doğal frekans değişimleri



Şekil 7. Farklı kademe konumu ve oranlarına göre S-S sınır şartı altındaki doğal frekans değişimleri

Şekil 6'da S-S sınır şartları altındaki kirişin manyetik alan ve elastik zemin katsayılarındaki değişimler irdelenmiştir. Görüldüğü gibi manyetik alan ve elastik zemin katsayılarındaki artışların doğrusal doğal frekans değerlerinin artışına sebep olmaktadır. Kademe konumu ve oranı ise Şekil 7'de sunulmuştur. İki ucunda serbest sınır şartına sahip olması etkilerin daha net fark edilmesini sağladığı yorumlanmaktadır. Şekil 7'de görüldüğü gibi kademe konumu kiriş uçlarına yaklaşması durumunda doğal frekans değerleri artmakta orta konuma yakın durumlarda ise azaldığı görülmektedir. Bu durumun özellikle yüksek kademe oranına sahip kademe konumunun 0.2 olduğu değerinde çok daha belirgin olduğu fark edilmiştir. Söz konusu durum literatürdeki çalışmalara Bağdatlı vd. (2009), Özkaya ve Tekin (2007) paralellik göstermektedir. Ayrıca kademe oranlarındaki artışın doğal frekansları arttırdığı görülmüştür.

4. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Sunulan çalışmada tek kademeli kirişin doğrusal titreşim davranışları üzerinde durulmuştur. Kademeli kirişin manyetik alan içerisinde olduğu ve doğrusal elastik zemin üzerine yerleştirildiği simüle edilmiştir. Ayrıca kirişin farklı kademe oranları ve konumlarına sahip olduğu modellenmiştir. Çalışmanın zenginliğinin artırılması adına farklı mesnet türlerinin etkileri irdelenmiştir. Sonuçlar genel olarak yorumlandığında manyetik alan etkisinin artması doğal frekanslar üzerinde net bir artışa sebep olmaktadır. Benzer durumun doğrusal elastik zemin katsayısı için geçerli olduğu grafikler incelendiğinde söylenebilmektedir. Açıklanan iki durumun A-S sınır koşullarına sahip kiriş modelinde daha belirgin olduğu belirtilmiştir. Kademe konumu ve oranları incelendiğinde

doğal frekansların değişimi bu iki değişken parametre ile doğrusal bir ilişkiye sahip olmadığı görülmüştür. Kademe oranındaki değişikliğin doğal frekanslar üzerinde kademe konumundaki değişiklikten daha etkili olduğu yorumlanmaktadır. Genel olarak incelendiğinde kademelerin serbest uca yakın olunması durumunda doğal frekans değerlerinde düşüş olduğu görülmüştür. Fakat her üç durum içinde en yüksek doğal frekans değerleri kademe oranının en yüksek kademe konumunun en düşük olduğu değerlerde elde edilmiştir.

Tesekkür (Acknowledgement)

Bu çalışma herhangi bir kurum ya da kuruluş üzerinden desteklenmemektedir. This research is not supported by any institution or organization.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

Kaynaklar (References)

- Arani, A. G., Dashi, P., Amir, S., Yousefi, M., 2015. Nonlinear vibration of coupled nano- and microstructures conveying fluid based on Timoshenko beam model under two-dimensional magnetic field. *Acta Mech*, 226, 2729–2760. doi:10.1007/s00707-015-1342-2
- Atcı, D., 2021. Free vibrations of nanobeams under non-ideal supports based on modified couple stress theory. *Z Naturfr. A*, 76(5), 427–434. <https://doi.org/10.1515/zna-2020-0335>
- Atcı, D., Bağdatlı, S. M., 2017. Vibrations of fluid conveying microbeams under non-ideal boundary conditions. *Microsyst Technol.*, 23, 4741–4752. <https://doi.org/10.1007/s00542-016-3255-y>
- Atcı, D., Bağdatlı, S. M., 2018. Principle parametric resonance of fluid conveying microbeams under non-ideal boundary conditions. *El-Cezerî J Sci Eng*, 5(2), 671–680.
- Bağdatlı, S. M., Özkaya, E., Özyiğit, H. A., Tekin A., 2009. Nonlinear vibrations of stepped beam systems using artificial neuralnetworks. *Structural Engineering And Mechanics*, 33(1), 15-30. doi: 10.12989/sem.2009.33.1.015
- Bert, C.W., Newberry, A.L., 1986. Improved finite element analysis of beam vibration. *Journal of Sound and Vibration*, 105(1), 179-183.
- Chang, T-P., 2016. Nonlinear free vibration analysis of nanobeams under magnetic field based on nonlocal elasticity theory. *Journal of Vibroengineering*, 18(3). ISSN 1392-8716 <http://dx.doi.org/10.21595/jve.2015.16751>
- Cheng, P., Davila, C., Hou, G., 2014. Static, Vibration Analysis and Sensitivity Analysis of Stepped Beams Using Singularity Functions, 234085. <https://doi.org/10.1155/2014/234085>
- Chicurel R. and Suppiger E., 1961. A tabular collocation method for beam vibration. *Journal of Engineering for Industry, Transactions of the ASME* 83, 373-376. <https://doi.org/10.1115/1.3664534>
- Esen, I., Abdelrhmaan, A.A., Eltaher, M.A., 2022. Free vibration and buckling stability of FG nanobeams exposed to magnetic and thermal fields. *Engineering with Computers* 38, 3463–3482. <https://doi.org/10.1007/s00366-021-01389-5>
- Jandaghian A. A., Rahmani O., 2016. Free vibration analysis of magneto-electro-thermoelastic nanobeams resting on a Pasternak foundation. *Smart Mater. Struct.*, 25, 035023.
- Jang, S. K., and Bert, C. W., 1989. Free vibration of stepped beams: Exact and numerical solutions. *Journal of Sound and Vibration*, 130(2), 342–346. doi:10.1016/0022-460x(89)90561-0
- Kural, S., 2018. Investigation of 3:1 and 2:1 internal resonances in fluid conveying microbeam. *Tech J.*, 12(1), 18–26. <https://doi.org/10.31803/tg-20180131225708>
- Kural, S., 2020. Effect of spring mid-support condition on the vibrations of the axially moving string. *Int Adv Res Eng J.*, 4(3), 191–199. <https://doi.org/10.35860/iaej.757503>
- Kural, S., Özkaya, E., 2015. Size-dependent vibrations of a micro beam conveying fluid and resting on an elastic foundation. *J Vib Control*, 23(7), 1106–1114. <https://doi.org/10.1177/1077546315589666>
- Lee, J., Bergman, L. A., 1994. The vibration of stepped beams and rectangular plates by an elemental dynamic flexibility method. *Journal of Sound and Vibration*, 171(5), 617–640. <https://doi.org/10.1006/jsvi.1994.1145>
- Lu Z. R., Huang M., Liu, J. K., Chen, W. H., Liao, W. Y., 2009. Vibration analysis of multiple-stepped beams with the composite element model. *Journal of Sound and Vibration*, 322 (4-5), 1070–1080.
- Naguleswaran, S., 2003. Vibration and stability of an Euler–Bernoulli beam with up to three-step changes in cross-section and in axial force. *International Journal of Mechanical Sciences*, 45(9), 1563-1579.
- Nalbant, M. O., Bağdatlı, S. M., Tekin, A. 2023. Free Vibrations Analysis of Stepped Nanobeams Using Nonlocal Elasticity Theory. *Scientia Iranica*. 10.24200/sci.2023.61602.7395.
- Nešić N., Kozić P., Janevski G., 2022. Modes Of Non-Homogeneous Damped Beams On A Winkler-Type Elastic Layer. *Innovative Mechanical Engineering*, 2(1), 130-152.
- Özkaya, E., Tekin, A., 2007. Nonlinear vibrations of stepped beam system under different boundary conditions. *Structural Engineering and Mechanics*, 27 (3), 333–345. <https://doi.org/10.12989/SEM.2007.27.3.333>
- Taleb, N. J., Suppiger, E. W., 1961. Vibrations of stepped beams. *Journal of Aerospace Engineering*, 28, 295-298.
- Tang, Y., Ma, Z-S, Ding, Q., Wang, T., 2021. Dynamic interaction between bi-directionally functionally graded materials and magneto-electro-elastic fields: A nano-structure analysis. *Composite Structures*. 264, 113746. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2021.113746>

- Taşkın, V., Varserin, İ., Demirhan, P. A., 2021. Değişken Kesitli Kirişlerin Genel Sınır Şartları İçin Titreşim Analizi. Trakya Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 22(2), 73-86.
- Tekin, A., Özkaya, E., Bağdatlı, S. M., 2009. Three-to-one internal resonance in multiple stepped beam systems. Appl. Math. Mech. -Engl. Ed. 30(9), 1131-1142. doi: 10.1007/s10483-009-0907-x
- Wang, J., 1991. Vibration of stepped beams on elastic foundations. Journal of Sound and Vibration, 149(2), 315-322. [https://doi.org/10.1016/0022-460X\(91\)90640-6](https://doi.org/10.1016/0022-460X(91)90640-6)
- Yapanmış, B. E., Bagdatlı S. M., 2022. Investigation of the nonlinear vibration behaviour and 3:1 internal resonance of the multi supported nanobeam. Z Naturfr A. <https://doi.org/10.1515/zna-2021-0300>.
- Yapanmış, B. E., 2022. Nonlinear Vibration and Internal Resonance Analysis of Microbeam with Mass Using the Modified Coupled Stress Theory. Journal of Vibration Engineering and Technologies, <https://doi.org/10.1007/s42417-022-00694-7>



EFFECT OF GRAPHITE POWDER ADDITIVES ON MECHANICAL PROPERTIES AND ELECTRICAL CONDUCTIVITY IN BLAST FURNACE SLAG-BASED ALKALI-ACTIVATED MORTARS

Ahmet FİLAZİ¹, Rüstem YILMAZEL², Muharrem PUL^{3*}

¹ Kırıkkale Vocational School, Department of Construction, Kırıkkale University, Kırıkkale, Turkey

² Kırıkkale Vocational School, Department of Electronic and Automation, Kırıkkale University, Kırıkkale, Turkey

³ Kırıkkale Vocational School, Department of Electricity and Energy, Kırıkkale University, Kırıkkale, Turkey

Keywords

*Alkali-Activated Mortars,
Graphite,
Compressive Strength,
Flexural Strength,
Electrical Conductivity.*

Abstract

In this study, the effect of graphite powder additive on mechanical properties and electrical conductivity of alkali-activated mortar samples produced using blast furnace slag was investigated. In the preparation of the mortar samples, graphite powder in (<75) micron size was substituted at a rate of 0%-0.5-1%, 2% and 4% by weight of the binder. Sodium hydroxide and sodium silicate were used as activators in the mortar samples produced with Blast Furnace slag, and the samples were thermal cured at 110°C for 24 hours. Workability, unit weight, electrical conductivity, tendencies and compressive strength of all mortar samples that completed the curing period were determined. In addition, experiments were carried out to determine the water absorption and void ratios of the samples that gave the best results in the cementitious system activated with alkalis. The results obtained showed that the workability of the graphite powder was improved at 1% reinforcement rate in the mortar samples activated with alkalis, and it had a negative effect at the rates above 1%. It was understood that 1% graphite powder additive contributed positively to flexural and compressive strengths, while 4% graphite powder additive contributed provided the highest electrical conductivity.

YÜKSEK FIRIN CÜRUFU TEMELLİ ALKALİLERLE AKTİVİTE EDİLMİŞ HARÇLARDA GRAFİT TOZU KATKISININ MEKANİK ÖZELLİKLER VE ELEKTRİKSEL İLETKENLİK ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Anahtar Kelimeler

*Alkalilerle Aktivite Edilmiş
Harçlar,
Grafit,
Mekanik Dayanım,
Eğilme Dayanımı,
Elektriksel İletkenlik.*

Öz

Bu çalışmada yüksek fırın cürufu kullanılarak üretilen alkalilerle aktivite edilmiş harç numunelerde grafit tozu katkısının mekanik özellikler ve elektrik iletkenliğine etkisi araştırılmıştır. Harç numunelerin hazırlanmasında bağlayıcı oranın ağırlıkça %0-%0,5-%1-%2 ve %4 oranında, (<75) mikron boyutunda grafit tozu ikame edilmiştir. Yüksek Fırın cürufu ile üretilen harç numunelerde aktivatör olarak sodyum hidroksit ve sodyum silikat kullanılmış ve numuneler 24 saat 110°C'de ısı küre tabi tutulmuştur. Kür süresini tamamlayan tüm harç numunelerin işlenebilirlik, birim ağırlık, elektriksel iletkenlik, eğilme ve basınç dayanımları belirlenmiştir. Ayrıca, alkalilerle aktivite edilmiş çimentolu sistemin de en iyi sonuçları veren numunelerin su emme ve boşluk oranlarını belirleyen deneyler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar; grafit tozunun alkalilerle aktivite edilmiş harç numunelerde %1 takviye oranında işlenebilirliğin iyileştiği, %1'in üzerindeki oranlarda olumsuz etki yaptığı görülmüştür. %1 grafit tozu katkısı eğilme ve basınç dayanımlarına pozitif katkı sağlarken, %4 grafit tozu takviyesi ise en yüksek elektriksel iletkenliği sağladığı anlaşılmıştır.

Alıntı / Cite

Filazi, A., Yılmazel, R., Pul, M., (2023). Effect of Graphite Powder Additives on Mechanical Properties And Electrical Conductivity in Blast Furnace Slag-Based Alkali-Activated Mortars, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(3), 1120-1130.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

A. Filazi, 0000-0002-5190-0741
R. Yılmazel, 0000-0002-5564-4837
M. Pul, 0000-0002-0629-3516

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	07.02.2023
Revizyon Tarihi / Revision Date	21.06.2023
Kabul Tarihi / Accepted Date	18.07.2023
Yayın Tarihi / Published Date	28.09.2023

* İlgili yazar / Corresponding author: mpul@kku.edu.tr, (0318) 357 42 42 / 3009

EFFECT OF GRAPHITE POWDER ADDITIVES ON MECHANICAL PROPERTIES AND ELECTRICAL CONDUCTIVITY IN BLAST FURNACE SLAG-BASED ALKALI-ACTIVATED MORTARS

Ahmet Filazi¹, Rüstem Yılmazel², Muharrem Pul^{3†}

¹Kırıkkale Vocational School, Department of Construction, Kırıkkale University, Kırıkkale, Turkey

²Kırıkkale Vocational School, Department of Control and Automation, Kırıkkale University, Kırıkkale, Turkey

³Kırıkkale Vocational School, Department of Electricity and Energy, Kırıkkale University, Kırıkkale, Turkey

Highlights

- Investigation of the impact of graphite powder additives on the mechanical properties and electrical conductivity of alkali-activated mortars with blast furnace slag.
- Evaluation of flow amount, workability, compression strength, electrical resistivity, and conductivity of the samples.
- Findings indicate that the addition of graphite enhances the workability and increases the flexural and compression strengths at lower ratios, while higher ratios lead to a decrease in mechanical strength.
- Graphite additives provide the mortars with electrical conductivity, with higher graphite ratios resulting in increased conductivity.
- The study showcases the possibility of creating conductive structures by incorporating graphite into alkali-activated mortars, which expands their potential engineering applications.

Graphical Abstract

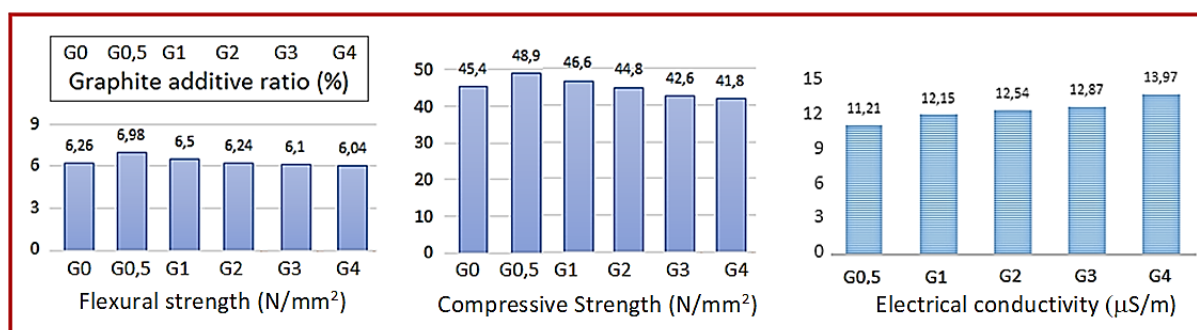


Figure. Mechanical strength and electrical conductivity of graphite added mortar

Purpose and Scope

In this study, it is aimed to examine the effect of graphite, which is a carbon allotrope and a good conductor, on the electrical properties of the mortar along with its mechanical properties.

Design/methodology/approach

For this purpose, test samples were prepared by adding graphite powder at different replacement ratios into the mortar. In the first stage, the flow amount, flexural and compression strength tests were carried out on the samples. Then, electrical resistivity and conductivity measurements were carried out. The findings were evaluated by creating graphics.

Findings

It has been determined that the graphite added to the mortar increases the workability, increases the flexural and compression strengths at 0.5% and 1% rates, but decreases the mechanical strength at higher rates. It has been observed that the graphite added to the mortar gives the samples electrical conductivity properties and this conductivity value increases depending on the increase in the graphite ratio.

Originality

With this study, it has been seen that the concrete mortar, which is an insulating composite, has a structure that can conduct electricity with the addition of graphite. Depending on the graphite ratio in the structure and the production technique, it is considered that such composite structures may be used for different engineering applications where certain levels of conductivity are required and will encourage more extensive research.

[†] Corresponding author: mpul@kku.edu.tr, (0318) 357 42 42 / 3009

1. Introduction

The industry with the highest carbon dioxide emission is cement production facilities. Very high levels of carbon dioxide are emitted to produce 1000 kg of cement (Hasanbeigi *et al.*, 2010). The amount of carbon dioxide from cement production constitutes 6 percent of the total carbon dioxide (Chen *et al.*, 2010).

Cement producing facilities produce approximately 1.5 billion tons each year and this production continues to increase every year. Clinker grinding constitutes approximately 40 percent of cement production. This grinding process requires a lot of electrical energy (Jankovic *et al.*, 2004). For this reason, various studies are carried out to develop alternative binders to today's cement systems. In this context, one of the alternative binders studied is concrete activated with alkalis. These concretes are green building materials that will replace cement and be produced such as fly ash or blast furnace slag to be used with waste slags (Amer *et al.*, 2021; Sandanayake *et al.*, 2018).

In a recent study by (Huseien, 2023), various nanomaterials were investigated for their potential in producing high-performance cementitious, geopolymer, and alkali-activated concrete composites. The study analyzed the effects of these nanomaterials on the fresh properties, mechanical properties, and durability of the modified concrete composites. The findings highlighted the improvements in microstructure and mechanical properties, such as anti-wear and anti-chloride penetration, achieved through the use of nanomaterials like SiO₂, Al₂O₃, TiO₂, and Fe₂O₃.

In another study, (Matalkah & Soroushian, 2020) focused on the effects of incorporating graphene nanoplatelets (GNPs) into alkali-activated binders. The research examined the impact of GNPs on the microstructure, heat of hydration, mechanical properties, and durability characteristics of the concrete. The inclusion of GNPs was found to enhance abrasion resistance, moisture sorptivity, and the formation of hydration products. Good bonding between GNPs and the alkali-activated matrix was also observed, leading to improved performance.

To gain the conductive properties of concrete, conductive materials must be added. Depending on the properties of the conductive material, different properties may develop in the concrete. It is possible to use it in different applications according to its features such as snow melting (Tumidajski *et al.*, 2003), increased cathodic protection (Sun *et al.*, 2021), energy discharge electrodes (Zhang *et al.*, 2017) or blocking or increasing signal transmission (Jung *et al.*, 2020). As the concrete gains a conductive property, it can also be used for traffic and health services. The increase in the electrical conductivity of the material causes a decrease in the resistivity at the same rate (El-Dieb *et al.*, 2018; Haddad & Chung, 2017; Zhang *et al.*, 2017). Graphite powder conducts electricity well and is cheap in price. For this reason; It is a good filling element used in fields such as medicine, engineering and science (Anwar *et al.*, 2014; Peyvandi *et al.*, 2013). Graphite powder shows much better conductivity than copper. Because of this feature; it used as a filler to composite materials, engines or mortars (Uysal, 2012). The higher the value of the current flowing through the new material produced, in other words, the lower the resistance of the material, the higher its electrical conductivity (Costa & Henry, 2011). The electrical conductivity was investigated by adding fly ash, silica fume and blast furnace slag to the setting cement paste. It was observed that the cement paste hardened with the increase of added minerals. Since this hardening prevents the permeability of electric current, the electrical conductivity has decreased (Topcu *et al.*, 2012). Investigation of electrical resistivity of blast furnace slag added cement pastes was investigated. In all water/cement ratios, according to the hydration time, as the YFC ratio in the mixture increased, the electrical current transmission decreased and the electrical resistivity increased. This is due to the fact that foreign materials such as silica and alumina in the content of YFC conduct the electric current, but when more than 10% of YFC is used, it is thought that the calcium hydroxide (Ca(OH)₂) produced by the hydration of Portland cement is not enough (Topçu *et al.*, 2018). The electrical conductivity, diffusion and permeability of Portland's cement based mortars were investigated. The electrical conductivity of a series of cementitious binders was studied over 450 days. Bulk conductivity measurements on mortars and related pore fluids were investigated. It is showed that over the first 28 days of hydration, changes in pore structure had a greater effect on the measured conductivity than changes in pore fluid conductivity (McCarter *et al.*, 2000). The electrical properties of Portland cement-silica fume and calcium hydroxide-silica fume pastes were investigated. It has been observed that the paste is affected by the molar Ca(OH)₂/silica ratio, where the conductivity is most intense. While the conductivity has the lowest siemens value at Ca(OH)₂/silica = 0.80, the conductivity has the highest density at Ca(OH)₂/silica = 1.0. Therefore, the molar ratio of Ca(OH)₂/silica of 1.0 was found to represent the maximum initial hydrolysis rate of the Ca(OH)₂-SF mixture (Salem, 2002).

Today, it is very important for sustainability to transform wastes into a new material by using them as raw materials. An example of this is the production of alkali-activated mortar or concrete with alternative binders for cement systems. In this study; Unlike the literature, it is aimed to examine the electrical conductivity together with some mechanical properties by producing mortars that are activated with high alkalis and add graphite powder.

2. Material and Method

2.1. Material

The sand added to the cement for this article was taken from the Limak Trakya Cement Factory. The type of this sand is CEN sand determined according to TS EN 196-1 standards (Standard, 2006). Standard Rilem sand, typically has a specific gravity of 2.63 g/cm^3 and a unit weight of $1600\text{-}1700 \text{ kg/m}^3$. The blast furnace slag used was produced in the Ereğli Iron and Steel Factory. The grain distribution of the reference sand is given in Table 1, the chemical and physical properties of the blast furnace slag are given in Table 2, and the properties of the additive element graphite are given in Table 3. Blast furnace slag was used directly without grinding as it left the factory.

Table 1. Grain distribution of the reference sand

Sieve sizes (mm)	Cumulative Sieve Remainder (%)
2.00	0
1.60	7 ± 5
1.00	33 ± 5
0.50	67 ± 5
0.16	87 ± 5
0.08	99 ± 1

Table 2. Blast furnace slag technical specifications

Chemical Property (%)	Blast furnace slag
SiO ₂	35.2
Al ₂ O ₃	17.51
Fe ₂ O ₃	0.68
CaO	37.7
MgO	5.51
SO ₃	0.69
Na ₂ O	0.42
K ₂ O	1.71
Physical property	
Blaine fineness (cm ² /g)	3940
Specific Gravity (g/cm ³)	2.89

Table 3 Graphite powder specifications

Physical property	
Chemical formula	C
Powder size (μm)	μ75
Specific Gravity (g/cm ³)	2.1
Colour	Carbon black
Thermal conductivity (W/mK)	In X-Y axis: 1200-1400
Thermal conductivity (W/mK)	In Z axis: 10-15
Electrical Conductivity (S/m)	130
Melting point (°C)	3650
Compressive strength (MPa)	25-190
Flexural strength (MPa)	10-100

Digital camera image, microstructural image under scanning electron microscope (SEM) and graphite powder of blast furnace slag used in the production of test sample mortars are shown in Figure 1.

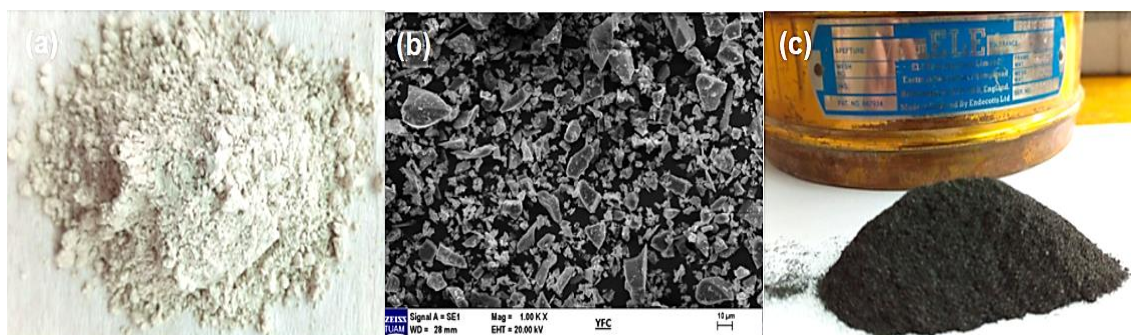


Figure 1. Blast furnace slag (a) digital camera ,(b) SEM image, (c) graphite powder

In the experimental study, solid sodium hydroxide (NaOH) and sodium silicate solution (Na₂SiO₃) with 98% purity were used as alkali activators. The chemical composition of the Na₂SiO₃ solution (wt%): SiO₂ (26.5), Na₂O (8.3) and dH₂O (6.2). In the experimental study, alkali activators were utilized to enhance the reactivity and accelerate the reaction rate. Solid sodium hydroxide (NaOH) and sodium silicate solution (Na₂SiO₃) with a purity of 98% were employed as the alkali activators. Activators are substances that are employed to increase or initiate the reaction rate. In this context, they play a crucial role in the alkali activation process by promoting the desired chemical reactions. In the production of concrete and mortar, alkali activators are used to expedite the hydration process and facilitate the rapid hardening of the material. This leads to the development of early strength and improved mechanical properties. Specifically, in this study, solid sodium hydroxide (NaOH) and sodium silicate solution (Na₂SiO₃) were utilized as alkali activators. Sodium hydroxide, when dissolved in the concrete or mortar mixture, releases hydroxide ions (OH⁻) and initiates the alkali activation process. On the other hand, sodium silicate solution consists of sodium oxide (Na₂O) and silica (SiO₂). This solution is employed to initiate hydration reactions and accelerate the activation process. The use of activators allows concrete and mortar materials to gain early strength and become ready for use in a shorter period. Furthermore, activators contribute to improving the mechanical properties and durability of the material. Hence, activators play a vital role in the alkali activation process, aiding in achieving the desired properties and enhancing the overall performance of the material. Sodium hydroxide and sodium silicate used as activators are shown in Figure 2.

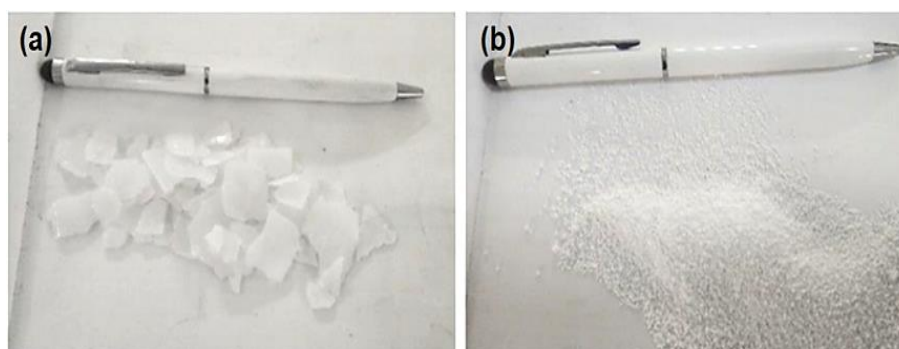


Figure 2. Sodium hydroxide (a) and sodium silicate (b)

Potable tap water was used in the experimental study.

2.2. Experiment Design

The mixing ratios of the alkali-activated mortars produced in this experimental study are given in Table 4.

Table 4. Mortar mixing ratios

Sample	BFS (g)	NaOH (g)	Na ₂ SiO ₃ (g)	Sand (g)	Water (g)	Graphite (g)
GO Pure	450	32	127	1350	146	0
G0.5	447.75	32	127	1350	146	2,25
G1	445.5	32	127	1350	146	4,5
G2	441	32	127	1350	146	9
G3	436.5	32	127	1350	146	13,5
G4	432	32	127	1350	146	18

In the first stage of the experimental study, workability tests of the produced mortars were carried out. The images of the fresh mortars from the Fresh Mortar Consistency Determination experiments are shown in Figure 3. These tests were carried out in the flow table according to TS EN 1015-3 (TS ENV1317-4, 2011).



Figure 3. Flow view of mortar samples

2.3. Mechanical Experiments

In this part of the article, the mechanical properties of the mortars of the filling material are examined. The mortars formed were prepared in dimensions of 40×40×160 mm. Materials were produced in equal dimensions for the application of flexural and compressive strength tests. These tests were carried out according to TS EN 196-1 standards. The prisms obtained from the specimens subjected to the flexural test were placed in such a way that they did not exceed the plates of the test set by ± 5 mm. Experiment set for compressive strength, It has been adjusted to not exceed the speed range of 2200 N/s and 2600 N/s. This device was loaded until the prism broke. Compressive strength was obtained by taking the arithmetic average of the pressure tests of six mortars determined from three prismatic sets. More than $\pm 10\%$ discarded this result because one of the six results differed from the mean. The remaining five results were averaged. The results obtained for flexural and compressive strength tests are shown in Figure 4.

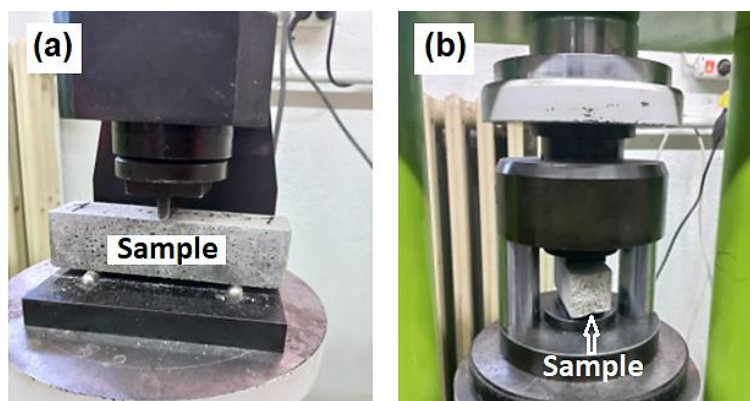


Figure 4. Flexural strength test (a) Compressive strength test (b)

2.4. Electrical Conductivity Test

The experimental setup used in the electrical resistivity measurement is shown in Figure 5. A DC power source and two digital multimeters were used in the established measurement setup. The DC power supply is used to give a constant DC voltage to the material produced. Digital multimeters are used to measure the electric current passing through the material and the voltage falling on it. The currents passing over it were measured by fixing the power supply at 30V. While measuring these currents, measurements were taken in different parts of the material. The average value was calculated by taking measurements from 5 different places of the produced material. The reason for this is that the material produced is not homogeneous. It was tried to calculate the optimum current value for the material by taking measurements from different parts.

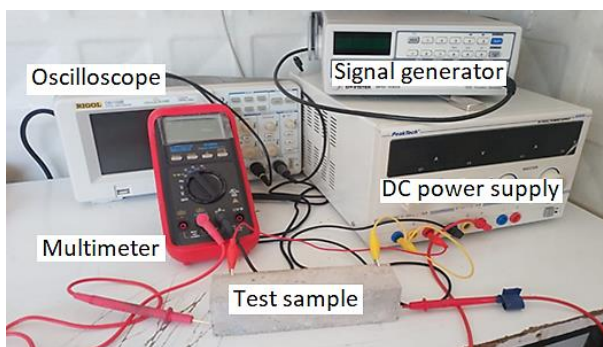


Figure 5. Experiment setup used in electrical resistivity measurement

According to the current value obtained, the resistance values of the material to the voltage values given from the DC power source were calculated. The resistance value of the material was calculated using the expression in Equation 1. In Equation 1; R value is resistance (Ω), I value is current (A) and V value is voltage (V).

$$R = \frac{V}{I} \tag{1}$$

The resistivity value of the material with the resistance value was calculated. However, as the size and area of the material change, the resistance value changes. If the size of the material differs, the results may differ as the diffusion of graphite powder in it will also differ. For this reason, 40x40x160 mm dimensions are used in every material produced. Thus, measurements were taken under equal conditions for each material produced. In Equation 2, the formula that gives the resistance value according to the size and volume of the material is shown. The resistivity (ρ) is drawn from this formula and shown in equation 3. In Equations 2 and 3; L value gives the length of the material (m), A value gives the area of the material (m^2) and ρ gives the resistivity of the material ($\Omega.m$) (Heinzel vd, 2004).

$$R = \frac{L \cdot \rho}{A} \tag{2}$$

$$\rho = \frac{R \cdot A}{L} \tag{3}$$

The electrical conductivity expression of the material after determining the resistivity is also shown in equation 4. The σ value represents the electrical conductivity (S.m).

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \tag{4}$$

3. Results & Discussion

3.1 Unit weight

The graph created according to the unit weights obtained from the graphite added mortar samples is given in Figure 6.

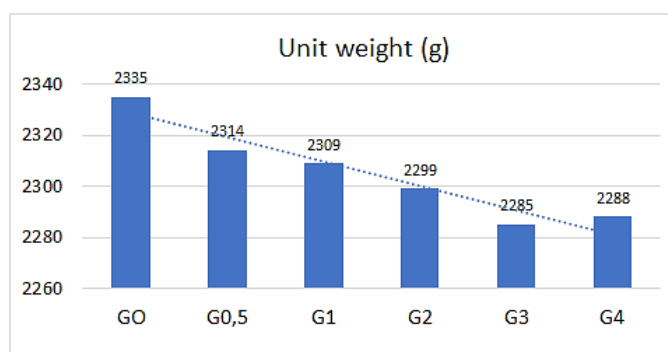


Figure 6. Unit weights of mortar samples

According to the results, the unit weight values of the samples produced with graphite powder substitution decreased compared to the sample without graphite additive. While the highest unit weight values were in the pure control sample, the highest unit weight in the graphite powder added samples was obtained in the samples with the lowest additive rate of 0.5% graphite powder. On the other hand, the amount of activator used in the preparation of the mortars did not make a significant difference in the unit weight values of the samples. The reason for this is that the addition of graphite powder to the mortar caused a decrease in unit weight values compared to the sample without graphite additive. This decline can be attributed to several factors. First, graphite has a lower density compared to other materials typically used in mortar mixes. This lower density contributes to a reduction in the overall weight of the mortar and leads to a reduction in unit weight. Additionally, the presence of graphite particles in the mortar mixture fills the void spaces between the aggregate particles and the binding material. This filling effect reduces the overall volume of the mortar, resulting in a decrease in its unit weight. Moreover, graphite powder has a relatively low specific gravity, meaning that it weighs less for a given volume compared to other components of the mortar mixture. As a result, the inclusion of graphite powder in the mixture further contributes to a decrease in the overall weight of the mortar, leading to a decrease in its unit weight. It is worth noting that the amount of activator used in the preparation of the mortars did not significantly affect the unit weight values. This suggests that the observed decrease in unit weight is primarily influenced by the addition of graphite powder rather than the activator content.

3.2 Flow-Table Experiment

The spread rates obtained as a result of the flow tests of the graphite-added mortar samples and the deviation rates of the spread values compared to the non-graphite-added sample are shown in Figure 7.

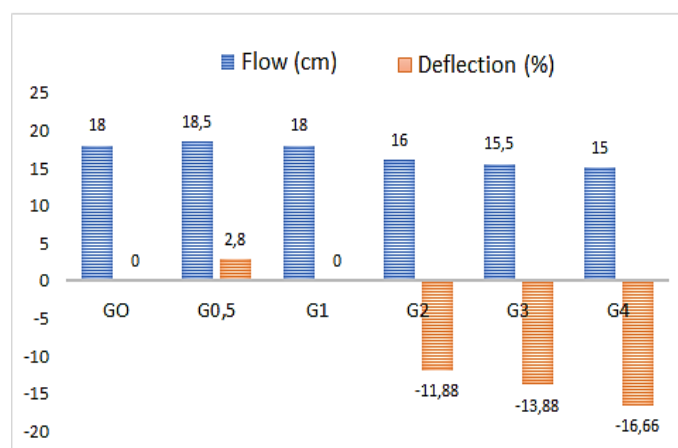


Figure 7. Flow diameter

It can be seen in Figure 7 that the 0.5% graphite additive added to the sample increases the flow value and thus the workability by 2.80%. After the addition of 1% graphite powder, the flow amount of the mortar samples decreased and was adversely affected. In a similar study in the literature, in their study (Wang et al., 2016), It has been observed that graphene oxide, a derivative of graphite, improves the hydration of alkali-activated and reduces the amount of water in the alkali-activated structure. This indicates that the alkali-activated mortar reduces its fluidity. (Li et al., 2017) showed that the reduction of free water in the alkali-activated mortar resulted in higher water holding capacity of graphene oxide aggregates formed by chemical crosslinking of graphene oxide nanoplates with calcium ions. It is stated that this situation causes the alkali-activated mortar to decrease its fluidity. In another research results, it was observed that graphene oxide mixed with alkali-activated mortar reduced the fluidity of the alkali-activated mortar and the slump of concrete (Lu & Ouyang, 2017).

3.3 Evaluation of Flexural and Compressive Strength Results

Graphs showing the flexural and compressive strength of graphite powder substituted mortar samples at 0% - 0.5% - 1% - 2% - 3% and 4% weight ratios are given in Figure 8 and Figure 9. In addition to the results; the differences in the strength values of the graphite added mortars compared to the graphite-free sample are also shown in the graphs as percentage deviations

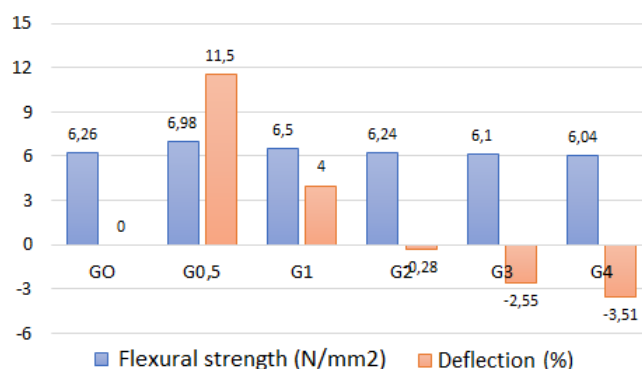


Figure 8. Flexural strength values

The observed increase in flexural strength values with the addition of 0.5% and 1% graphite powder, as shown in Figure 8, suggests that graphite powder can have a positive effect on the flexural strength of the mortar. However, it is important to note that a decrease in flexural strength is observed after 1% graphite powder addition. This decrease in strength can be attributed to the low adhesion ratio between the graphite particles and the material. The bonding force between the graphite particles and the matrix material plays a significant role in determining the compressive strength of the mortar. When the adhesion ratio is low, the bonding between the graphite particles and the matrix becomes weaker, leading to a decrease in compressive strength. This finding is consistent with the research by (El-Dieb et al., 2018) which emphasizes the influence of the bonding force on the resulting compressive strength. It is important to consider that the effect of graphite powder on strength is not solely determined by its adhesion characteristics. Other factors such as the distribution of graphite particles within the mortar matrix and the potential formation of weak interfaces can also contribute to the observed decrease in flexural strength after a certain graphite powder content. The decrease in flexural strength after 1% graphite powder addition can be attributed to the low adhesion ratio between the graphite particles and the material, which affects the bonding force and consequently influences the compressive strength.

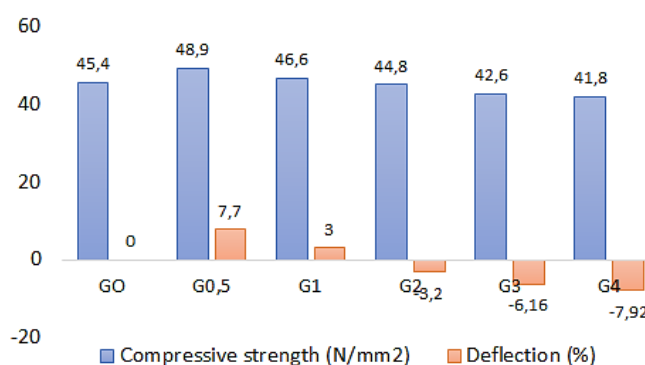


Figure 9. Compressive strength values

When the compressive strength was compared with the sample without graphite additive, it was observed that it increased by 7.70% in the sample with 0.5% graphite powder and 3% in the sample with 1% graphite powder. However, there was a decrease in compressive strength after 1%. In general, the flexural and compressive strengths of cementitious materials are related to the relatively weak bond between the graphite particles and the matrix phase of the mortars. It is clearly seen that the strength decreases linearly with the addition of graphite powder. Moreover, these mechanical strength results can be attributed to the weaker bond between the matrix of the mortars and the hydrophobic graphite particles and the layered structure of the graphite, which can act as a stress concentrator for crack propagation. According to studies in the literature, it has been observed that graphite powder has a negative effect on the mechanical performance of electrically conductive cementitious composites. The mechanical improvement observed with the inclusion of slag in this structure affects the crystal structures, which strengthens the bond between the aggregates and the C-S-H gel (Abedini & Zhang, 2021; Mou et al., 2019).

3.3 Electrical Resistivity Tests and Evaluation of Results

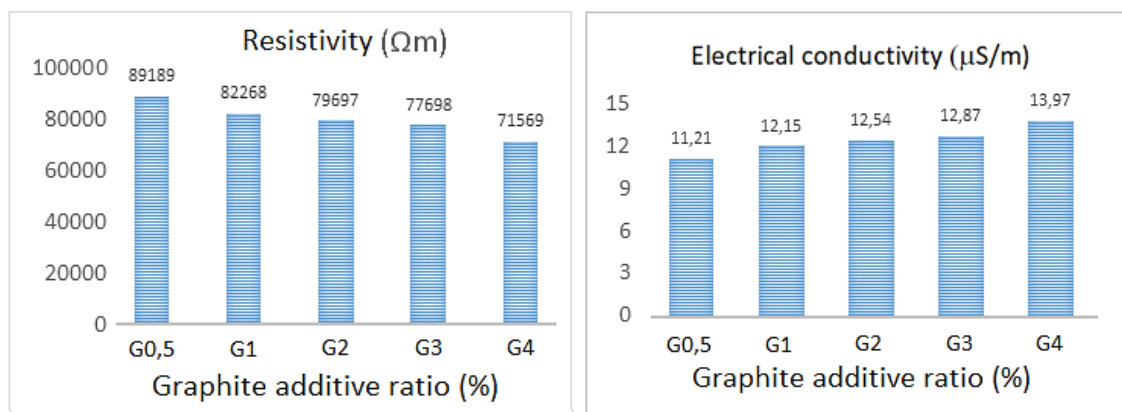


Figure 10. Resistivity and electrical conductivity values of mortar samples

The resistivity and electrical conductivity values obtained by adding different graphite ratios to the samples are shown in Figure 10. When the resistivity and electrical conductivity graphs obtained in Figure 10 are examined, The electrical conductivity of the sample with G4 additive increased by 24.6% compared to the sample with G0.5 additive. The electrical conductivity of the new material was increased with the addition of graphite. This ratio also showed that the graphite was homogeneously dispersed in the produced mortar. It has been observed that the positive effect on the material in terms of conductivity increases as the density of graphite is increased. Since graphite is a very good conductor, it is expected that the resistance to electric current will decrease. The decrease in the resistivity value caused the electrical conductivity value to increase at the same rate.

4. Conclusions

An increase of approximately 12.8% in flow diameter was observed in the mortar samples containing 1% graphite powder based on blast furnace slag activated with alkalis. However, after adding 1%, the workability decreased. The addition of graphite to the mortars caused a decrease in the flexural and compressive strengths mainly due to the increased demand for mixing water and the resulting increased porosity of the mortar. While the reduction in fluidity can be a significant barrier to the in situ use of this composite material; Reductions in compressive strength may prevent its use in structural applications. It was also understood that graphite does not affect the hydration of alkali-activated mortar, that is, it functions as an inert conductive filler. With the addition of graphite, the mortar showed electrical conductivity and this conductivity value increased due to the increase in the graphite ratio. However, the use of graphite as a conductive additive in alkali-activated mortar has shown that it may bring some practical limitations. In conclusion; AAC composites produced as conductors for a variety of applications will have good potential for structural health monitoring systems for highway bridge decks, parking lots, sidewalks, driveways and airport runways, coated snowmelt systems, smart structures.

Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- Abedini, M., & Zhang, C. (2021). Dynamic performance of concrete columns retrofitted with FRP using segment pressure technique. *Composite Structures*, 260, 113473. <https://doi.org/10.1016/J.COMPSTRUCT.2020.113473>
- Amer, I., Kohail, M., El-Feky, M. S., Rashad, A., & Khalaf, M. A. (2021). A review on alkali-activated slag concrete. *Ain Shams Engineering Journal*, 12(2), 1475–1499. <https://doi.org/10.1016/J.ASEJ.2020.12.003>
- Anwar, M. S., Sujitha, B., & Vedalakshmi, R. (2014). Light-weight cementitious conductive anode for impressed current cathodic protection of steel reinforced concrete application. *Construction and Building Materials*, 71, 167–180. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2014.08.032>
- Chen, C., Habert, G., Bouzidi, Y., & Jullien, A. (2010). Environmental impact of cement production: detail of the different processes and cement plant variability evaluation. *Journal of Cleaner Production*, 18(5), 478–485. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2009.12.014>
- Costa, L. C., & Henry, F. (2011). DC electrical conductivity of carbon black polymer composites at low temperatures. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 357(7), 1741–1744. <https://doi.org/10.1016/J.JNONCRY SOL.2010.11.119>
- El-Dieb, A. S., El-Ghareeb, M. A., Abdel-Rahman, M. A. H., & Nasr, E. S. A. (2018). Multifunctional electrically conductive concrete using different fillers. *Journal of Building Engineering*, 15, 61–69. <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2017.10.012>
- Haddad, A. S., & Chung, D. D. L. (2017). Decreasing the electric permittivity of cement by graphite particle incorporation. *Carbon*, 122, 702–709. <https://doi.org/10.1016/J.CARBON.2017.06.088>
- Hasanbeigi, A., Menke, C., & Price, L. (2010). The CO₂ abatement cost curve for the Thailand cement industry. *Journal of Cleaner Production*, 18(15), 1509–1518. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2010.06.005>

- Huseien, G. F. (2023). A Review on Concrete Composites Modified with Nanoparticles. *Journal of Composites Science*, 7(2). <https://doi.org/10.3390/jcs7020067>
- Jankovic, A., Valery, W., & Davis, E. (2004). Cement grinding optimisation. *Minerals Engineering*, 17(11–12), 1075–1081. <https://doi.org/10.1016/J.MINENG.2004.06.031>
- Jung, M., Lee, Y. soon, Hong, S. G., & Moon, J. (2020). Carbon nanotubes (CNTs) in ultra-high performance concrete (UHPC): Dispersion, mechanical properties, and electromagnetic interference (EMI) shielding effectiveness (SE). *Cement and Concrete Research*, 131, 106017. <https://doi.org/10.1016/J.CEMCONRES.2020.106017>
- Li, X., Liu, Y. M., Li, W. G., Li, C. Y., Sanjayan, J. G., Duan, W. H., & Li, Z. (2017). Effects of graphene oxide agglomerates on workability, hydration, microstructure and compressive strength of cement paste. *Construction and Building Materials*, 145, 402–410. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2017.04.058>
- Lu, L., & Ouyang, D. (2017). Properties of cement mortar and ultra-high strength concrete incorporating graphene oxide nanosheets. *Nanomaterials*, 7(7), 1–14. <https://doi.org/10.3390/nano7070187>
- Mataalkah, F., & Soroushian, P. (2020). Graphene nanoplatelet for enhancement the mechanical properties and durability characteristics of alkali activated binder. *Construction and Building Materials*, 249, 118773. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2020.118773>
- McCarter, W. J., Starrs, G., & Chrisp, T. M. (2000). Electrical conductivity, diffusion, and permeability of Portland cement-based mortars. *Cement and Concrete Research*, 30(9), 1395–1400. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(00\)00281-7](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(00)00281-7)
- Mou, B., Zhao, F., Qiao, Q., Wang, L., Li, H., He, B., & Hao, Z. (2019). Flexural behavior of beam to column joints with or without an overlying concrete slab. *Engineering Structures*, 199, 109616. <https://doi.org/10.1016/J.ENGSTRUCT.2019.109616>
- Peyvandi, A., Soroushian, P., Balachandra, A. M., & Sobolev, K. (2013). Enhancement of the durability characteristics of concrete nanocomposite pipes with modified graphene nanoplatelets. *Construction and Building Materials*, 47, 111–117. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2013.05.002>
- Salem, T. M. (2002). Electrical conductivity and rheological properties of ordinary Portland cement-silica fume and calcium hydroxide-silica fume pastes. *Cement and Concrete Research*, 32(9), 1473–1481. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(02\)00809-8](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(02)00809-8)
- Sandanayake, M., Gunasekara, C., Law, D., Zhang, G., & Setunge, S. (2018). Greenhouse gas emissions of different fly ash based geopolymer concretes in building construction. *Journal of Cleaner Production*, 204, 399–408. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2018.08.311>
- Standard, T. (2006). TS-En 196-1-ÇİMENTO DENEY METOTLARI- BÖLÜM 1: DAYANIM. 112.
- Sun, J., Ma, Y., Li, J., Zhang, J., Ren, Z., & Wang, X. (2021). Machine learning-aided design and prediction of cementitious composites containing graphite and slag powder. *Journal of Building Engineering*, 43, 102544. <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2021.102544>
- Topçu, İ. B., Uygunoğlu, T., & Hocaoğlu, İ. (2018). Yüksek Fırın Cüruf Katkılı Çimento Pastalarının Elektriksel Özdirençlerinin Araştırılması. *Journal of Polytechnic*, 0900(2), 257–264. <https://doi.org/10.2339/politeknik.403970>
- Topçu, İ. B., Uygunolu, T., & Hocaolu, İ. (2012). Electrical conductivity of setting cement paste with different mineral admixtures. *Construction and Building Materials*, 28(1), 414–420. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.08.068>
- TS EN 1015-3: Masonry mortar-test methods-part 3: determination of fresh mortar consistency (with spreading table)." (2000) Turkish Standard. Türk StandartlarEnstitüsü.
- Tumidajski, P. J., Xie, P., Arnott, M., & Beaudoin, J. J. (2003). Overlay current in a conductive concrete snow melting system. *Cement and Concrete Research*, 33(11), 1807–1809. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(03\)00198-4](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(03)00198-4)
- Uysal, S. (2012). Graphite: A Critical Raw Material and Turkey. *Mining Turkey*, 2(3), 42–47.
- Wang, Q., Wang, J., Lu, C. X., Cui, X. Y., Li, S. Y., & Wang, X. (2016). Rheological behavior of fresh cement pastes with a graphene oxide additive. *New Carbon Materials*, 31(6), 574–584. [https://doi.org/10.1016/S1872-5805\(16\)60033-1](https://doi.org/10.1016/S1872-5805(16)60033-1)
- Zhang, J., Xu, L., & Zhao, Q. (2017). Investigation of carbon fillers modified electrically conductive concrete as grounding electrodes for transmission towers: Computational model and case study. *Construction and Building Materials*, 145, 347–353. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2017.03.223>



SOME CARBONYL COMPOUNDS, FREE FATTY ACID COMPOSITIONS AND TOCOPHEROL CONTENTS OF KAYMAK (CLOTTED CREAM) PRODUCED FROM COW, SHEEP AND GOAT MILK

Mustafa YILMAZER^{1*}, Ayşe Gül OZAYDIN², Zehra ALBAY³, Bedia SIMSEK³

¹ Isparta Applied and Science University TBMYO Department of Cosmetic Technology, Isparta, Türkiye

² S. Demirel University, YETEM RESEARCH CENTER Isparta, Türkiye

³ S. Demirel University. Faculty of Engineering Department of Food Engineering Isparta- Türkiye

Keywords

*Carbonyl Compounds,
Free Fatty Acids,
Tocopherol,
Clotted Cream.*

Abstract

The aim of this study is to determine the effect of cow, goat and sheep milk used in traditional clotted cream production on some properties of clotted cream. The produced clotted cream was stored during 7 days. Some chemical analyses of the clotted cream, free fatty acid composition and tocopherol contents using gas chromatography (GC) and high-performance liquid chromatography (HPLC) were determined. Saturated fatty acids were found to be the highest in sheep's clotted cream and the lowest in goat's clotted cream. Monounsaturated fatty acids were found to be higher in clotted cream produced from goat's milk. Eicosapentaenoic Acid (EPA) and docosahexaenoic acid (DHA) and δ -tocopherol were determined only in clotted cream produced from sheep milk. The content of α -tocopherol in sheep's clotted cream and β -tocopherol in cow's clotted cream is higher than in the other clotted cream. 2-Methylbutyraldehyde was identified as the most important carbonyl component in all samples. Although all three clotted creams were quite similar in appearance and some chemical properties, it was determined that they contain significant differences in terms of carbonyl compounds, fatty acid profiles and tocopherol contents.

İNEK, KOYUN VE KEÇİ SÜTÜNDEN ÜRETİLEN KAYMAKLARIN BAZI KARBONİL BİLEŞİKLERİ, SERBEST YAĞ ASİDİ BİLEŞİMLERİ VE TOKOFEROL İÇERİKLERİ

Anahtar Kelimeler

*Karbonil Bileşikler,
Serbest Yağ Asitleri,
Tokoferol,
Kaymak.*

Öz

Bu çalışmanın amacı, geleneksel kaymak üretiminde kullanılan inek, keçi ve koyun sütlerinin kaymakların bazı özellikleri üzerine etkisini belirlemektir. Üretilen kaymak 7 gün boyunca depolamaya tabi tutulmuştur. Kaymakların, gaz kromatografisi (GC) kullanılarak serbest yağ asidi bileşimi ve yüksek performanslı sıvı kromatografisi (HPLC) kullanılarak tokoferol içeriği belirlenmiş ve bazı kimyasal analizleri yapılmıştır. Doymuş yağ asitleri en yüksek koyun kaymağında, en düşük ise keçi kaymağında bulunmuştur. Keçi sütünden üretilen kaymakta tekli doymamış yağ asitlerinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Eikosapentaenoik asit (EPA) ve dokosahekzaenoik asit (DHA) ve δ -tokoferol sadece koyun sütünden üretilen kaymalarda belirlenmiştir. Koyun kaymağındaki α -tokoferol ve inek kaymağındaki β -tokoferol içeriği diğer kaymalara göre daha yüksektir. 2-Metilbütiraldehit, tüm numunelerde en önemli karbonil bileşeni olarak tanımlanmıştır. Her üç kaymakta, görünüm ve bazı kimyasal özellikler açısından oldukça benzer olmasına rağmen, karbonil bileşikleri, yağ asidi profilleri ve tokoferol içerikleri açısından önemli farklılıklar içerdikleri belirlenmiştir.

Cite

Yılmaz M., Ozaydin A.G., Albay Z., Simsek B., (2023). Some Carbonyl Compounds, Free Fatty Acid Compositions and Tocopherol Contents of Kaymak (Clotted Cream) Produced from Cow, Sheep and Goat Milk, Journal of Engineering Sciences and Design, 11(3), 1131-1141.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

M.Yılmaz 0000-0002-3274-6718
A.G. Ozaydin 0000-0001-7860-8356
Z. Albay, 0000-0002-5090-8151
B. Şimşek, 0000-0002-7497-1542

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	07.12.2023
Revizyon Tarihi / Revision Date	05.07.2023
Kabul Tarihi / Accepted Date	18.07.2023
Yayın Tarihi / Published Date	28.09.2023

* İlgili yazar / Corresponding author: mustafayilmazer@isparta.edu.tr +90 -246-237-1717

SOME CARBONYL COMPOUNDS, FREE FATTY ACID COMPOSITIONS AND TOCOPHEROL CONTENTS OF KAYMAK (CLOTTED CREAM) PRODUCED FROM COW, SHEEP AND GOAT MILK

Mustafa YILMAZER^{1†}, Ayşe Gül OZAYDIN², Zehra ALBAY³, Bedia SIMSEK³

¹ Isparta Applied and Science University TBMYO Department of Cosmetic Technology, Isparta, Türkiye

² S. Demirel University, YETEM RESEARCH CENTER Isparta, Türkiye

³ S. Demirel University. Faculty of Engineering Department of Food Engineering Isparta- Türkiye

Highlights

- Three types of clotted cream were produced from cow, goat and sheep milk and stored for 7 days.
 - Carbonyl compounds, free fatty acid compositions and tocopherol contents of clotted cream were determined and some chemical analyzes were made.
 - The carbonyl compounds, fatty acid profiles, tocopherol contents of the creams showed differences.
-

Purpose and Scope

In this study, it was aimed to investigate the effects of cow, sheep and goat milk on some carbonyl compounds, free fatty acid compositions and tocopherol contents of clotted cream.

Design/methodology/approach

The free fatty acid compositions of the clotted creams were determined using gas chromatography (GC) and the tocopherol content was determined using high performance liquid chromatography (HPLC), and some chemical analyzes (pH, dry matter and fat) of the samples were made.

Findings

It has been determined that clotted cream produced from goat milk contains much more flavoring substance than other clotted creams and is very different in fatty acid composition. It has been determined that sheep clotted cream contains some fatty acids (monounsaturated fatty acids, EPA, DHA, etc.) that are important for health and its α -tocopherol content is higher.

Research limitations/implications

As an alternative to clotted cream produced from cow's milk, sheep or goat clotted cream is believed to have many important components.

Social Implications

It is thought that the production of these clotted creams should be expanded and that these products will make an important contribution to dairy technology in terms of economy and health.

Originality

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

1. Introduction

Cream is a dairy product with a high fat content. The density difference between the fat in milk/cream (0.93 g/cm^3) and serum ($\sim 1.036 \text{ g/cm}^3$) phases is one of the main reasons for the accumulation of fat globules on the surface, that is, creaming (Atamer *et al.*, 2016). Milk fat globules are collected on the surface by moving upwards at a certain temperature. The cream layer, which contains about 60% of the fat formed by these fat globules, is called clotted cream (Akarca *et al.*, 2014). Clotted cream, which is unique to Türkiye, is consumed for breakfast with honey and jam, and for decoration and flavoring in some desserts (kadayıf, baklava) (Kocatürk *et al.*, 2019). Apart from Turkey, clotted cream is widely produced in the Balkans, Asia, the Middle East, India, Iran, Afghanistan. Kaymak is expressed in these countries with names such as kaimak, geymar, gemagh and kajmak (Jokovic *et al.*, 2008; Cakmakcı and Hayaloglu, 2011). In the production of clotted cream, milk of different kinds of animals such as buffalo, cow, sheep and goat is used. For the production of clotted cream, buffalo milk with a high fat and dry matter content or cow's milk with an increased fat content with the addition of clotted cream is usually used (Akarca *et al.*, 2014; Kocatürk *et al.*, 2019). However, in recent years, clotted cream can also be made from different types of milk such as sheep and goat milk by applying a physical separation method due to the inadequacy of buffalo milk production and the laboriousness of the traditional production method (Pamuk, 2017). For traditional clotted

[†] Corresponding author: mustafayilmazer@isparta.edu.tr +90 -246-237-1717

cream production, raw milk is heated and left for 30 minutes when its temperature reaches 90°C. The milk is then left to cool at room temperature overnight. After the following morning's milking, milk is added to the heat treated cream obtained from the previous evening's milk. The mixture (morning and evening milks) is slowly heated again to 90°C for 45 minutes. After slowly cooling to room temperature, it is kept in the refrigerator (Şenel, 2011). The shelf life of the clotted cream produced by the traditional method is 4-7 days on average (Akarca *et al.*, 2014; Akalin *et al.*, 2006). Clotted cream is of great nutritional importance due to the high fat content of milk. Milk fat is of great nutritional importance due to the essential unsaturated fatty acids it contains, the fat-soluble vitamins A, D, E, K and conjugated linoleic acid (Dewhurst *et al.*, 2006; Akarca *et al.*, 2014). In addition, the fatty acid composition of dairy products varies according to the fatty acid composition of the milk used in its production, and the fatty acid composition of milk fat varies according to the type, diet and lactation period of the animal from which it is obtained, and season (Kocatürk *et al.*, 2019).

The fatty acid composition of milk has an effect on the organoleptic quality, oxidative stability and physical properties of dairy products. Milk fat is one of the most complex fats found in nature due to the wide variety of fatty acids (chain length -short, medium, long-, degree of unsaturation and branching, etc.) contained in it (Kahyaoglu, 2014). α -tocopherol is the primary antioxidant that works by ending free radical chain reactions, giving hydrogen or electrons to free radicals, and converting them into more stable products (Karabulut, 2010). As a result of chemical and biochemical transformations of milk components, aroma and flavor compounds are formed. These compounds; carbonyl compounds (diacetyl, acetone, acetaldehyde, etc.), volatile acids (butyric, acetic and formic, etc.), non-volatile acids (such as lactic and pyruvic) and various compounds (lactose, fat or protein components, which are formed by the thermal decomposition of specific amino acids). Among the aroma and flavor compounds, free fatty acids, carbonyl and lactic acid have a significant impact on the shelf life of dairy products and the formation of their characteristic aroma and flavor. Aldehydes are especially associated with taste changes and lead to a reduced shelf life, unpleasant odors, texture disorders and reduced nutritional value (Panseri *et al.*, 2011).

In clotted cream, some chemical and microbiological properties (Tosun, 2016), the content of some carbonyl components and free fatty acids and their effect on aroma (Şenel, 2011), volatile aroma properties (Cakmakcı and Hayaloglu, 2011), microbiological properties (Yılsay and Bayizit, 2002), active isomers of conjugated linoleic acid (Akalin *et al.*, 2005) were investigated. But, there is no research on the comparison of fatty acid, carbonyl compound and tocopherol content in clotted creams produced from different types of milk, such as goat and sheep cream. In this study, the fatty acid composition, carbonyl compounds and tocopherol content of cow, goat and sheep clotted cream, which have a significant effect on their quality and nutritional value, were examined. The free fatty acid composition by gas chromatography (GC), carbonyl components by solid phase microextraction system and tocopherol contents by HPLC were determined in clotted cream samples on the first and 7th days.

2. Material and Method

2.1. Material

In this study, raw sheep, goat and cow milk provided from Isparta Keçiborlu center-Türkiye and Isparta Unsut plant -Türkiye were used. Clotted cream production was carried out in Isparta Unsut plant.

2.2. Method

2.2.1. Clotted Cream Production

The raw milks for the production of clotted cream were standardized with cream of its own species to a ratio of 55-60% (sheep, goat and cow). Then, the first heat treatment was applied for 20 minutes at $95\pm 1^\circ\text{C}$. Pasteurized milk was poured into trays with a depth of 15 ± 2 cm from a height of one meter to foam the milk which has high fat content (so that the cream could acquire a porous appearance). The milk which has high fat content in the trays was cooled to $42\pm 1^\circ\text{C}$. Afterwards, the second heat treatment was applied at $72\pm 1^\circ\text{C}$ for 10 minutes without much movement. The milk which has high fat content was cooled to $4\pm 1^\circ\text{C}$ in a short time and left for 12 hours to form a layer of clotted cream on the surface. The resulting clotted cream is cut and separated from the milky part (Pamuk, 2017). The samples were packed in airtight plastic packages and stored for 7 days at $4\pm 1^\circ\text{C}$ (Fig 1). The clotted cream production was carried out three times. The appearance of clotted cream produced from goat, sheep and cow milk is given in Fig 2.

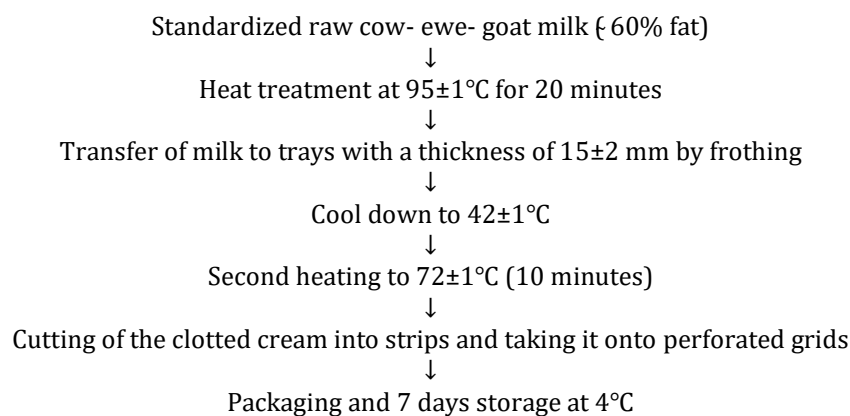


Figure 1. Clotted cream production flow chart

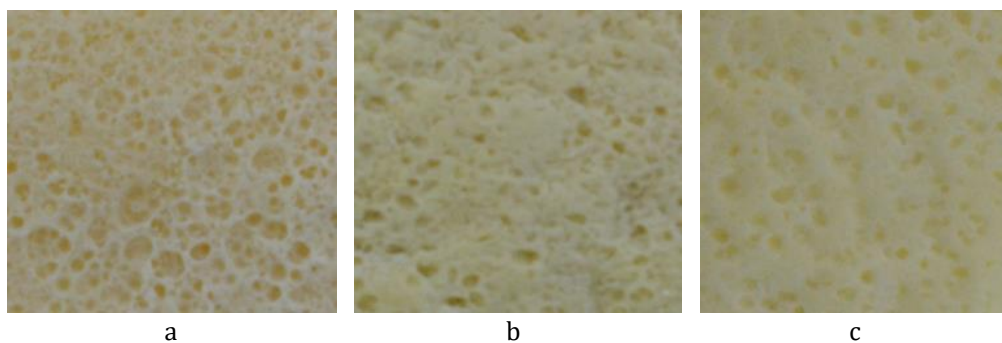


Figure 2. The appearance of clotted cream samples (a) sheep cream, (b) goat clotted cream, (c) cow clotted cream

2.2.2. Chemical Analysis

In clotted cream samples, the dry matter (gravimetric method) and the fat (gerber method) was determined (AOAC, 2000). The pH value was detected using the digital pH meter WTW pH 315 (Weilhelm, Germany).

2.2.3. Analysis of Fatty Acids

Sample preparation: Clotted cream samples were kept in chloroform:methanol mixture (2:1) and the fat layers were extracted for 12 hours. Then, samples derived with 0.5 ml sodium methoxide were prepared by taking the organic phase and giving them to the system.

The analysis of fatty acid methyl esters was carried out according to AOAC 996.06 (AOAC, 2005) method. In the determination of fatty acids, Perkin Elmer Autosystem XLGC and GC-FID detector were used. The study was conducted at 240°C . The detector temperature is 240°C , the flow rate is 15ps. Helium gas was used in the study a column with dimensions of $100\text{ m} * 0.25\text{ mm}$ and 0.25 m (Cp SIL 88 FOR FAME) was studied. After waiting for 4 minutes at a temperature of 60°C , 175°C was reached with an increase of 13°C per minute. After waiting at 175°C for 27 minutes, the samples waiting at this temperature for 5 minutes were delivered to 240°C with an increase of 4°C per minute, reaching 215°C with an increase of 4°C per minute, and the analyzes were performed by waiting at this temperature for 15 minutes.

2.2.4. Analysis of Volatile Aroma Compounds

Analysis of volatile aroma compounds was performed according to the method by Yang and Peppard (1994). For solid phase microextraction (SPME) analysis, 15 ml of silicone septal vial (Supelco 27159 ml clear PTFE/Silicone septa Cap) 3.0 g was taken from frozen (-20°C) clotted cream samples. The samples were first placed in a heating block at 45°C and left for 15 minutes without fiber. The extraction process was carried out using CAR/PDMS fiber ($75\text{-}\mu\text{m}$ Fused Silica, Supelco Ltd., Bellefonte, PA, USA) by using a vial injection. It was left for 30 minutes at 45°C to absorb volatile compounds from the fiber. The desorption of volatile compounds to be extracted was carried out in the GC-MS system and kept at 250°C for 5 minutes. Shimadzu GC-2010 gas chromatography system and Shimadzu MS-QP2010 mass spectrometry system (Shimadzu Corporation, Kyoto, Japan) were used to determine the volatile aroma compounds of samples. The analysis conditions are as follows: column Rx-5sil MS ($30\text{ m} * 0.25$

mm, $i=0.25$ μm film thickness; Restek, Bellefonte, catalog No:13623, PA, USA); the temperature program was kept at 40°C for 2 minutes. It was raised to 250°C at a speed of 4°C / min and kept at 250°C for 5 minutes; injector and detector temperatures were 250°C (detector voltage, 70 eV; carrier gas, is He; at a flow rate of 1.61 ml / min). The data processing was done with GCMS solution. GC / MS analysis was performed in the scanning mode in the december range of 40-300 amu. Volatile compounds were identified by comparing their retention time (RT) and mass spectra with analytical standards. The volatile compounds determined in the slider samples were verified by Wiley-NIST, Tutor, FFNSC (Flavor and Fragrance Natural and Synthetic) mass spectra libraries and RI values. The RI was calculated using an alkane series for each compound.

2.2.5. Analysis of Tocopherols

In the tocopherol analysis of clotted cream samples, the method given by Lampi *et al.* (1999) was modified and used. Detection and quantification were carried out with a Shimadzu LC-20AT prominence System controller (Kyoto, Japan), SIL-20AC prominence Autosampler, LC-20AT prominence pump and RF-10AXL Fluorescence Detector (Ex 295 nm, Em 330 nm). The Luna Silica (250*4.6 mm) 5 l (Supelco, Inc., Bellefonte, PA) column was used for tocopherols (α -, β -, γ -, δ -) analyse. The mobile phase consists of heptane/THF (95/5) (v/v), flow rate 1.2 ml/min and injection volume 10 μl .

2.2.6. Statistical analysis

The statistical evaluation of the study was determined by using the SPSS 22.0 program and by examining the significance level of the differences between the groups ($p<0.01$) with the Duncan multiple comparison test.

3. Experimental Results and Discussion

3.1 Chemical Analysis

The pH values of the clotted cream produced from sheep, goat and cow's milk were determined as 6.32 ± 0.04 , 6.23 ± 0.03 and 6.44 ± 0.02 , respectively. The fat ratios were found to be $56.5\pm 0.05\%$, $54.5\pm 0.02\%$ and $53.5\pm 0.04\%$. The dry matter contents were detected as $65.57\pm 0.12\%$, $63.18\pm 0.34\%$ and $61.47\pm 0.54\%$. Tosun (2016) was reported that the dry matter values of clotted cream were between 64.06-67.51%, and the fat content was between 61.00-65.00%. Albay and Şimşek (2019) found the lactic acid values of clotted cream samples to be 0.25-0.51% and the pH values to be 6.44-6.51. The results in this study are similar to the findings of these researchers.

3.2. Fatty Acid Composition

The amounts of fatty acids determined in cow, goat and sheep clotted cream is given in Table 1. In this study, it was determined that the saturated fatty acid (SFA) content of sheep's clotted cream samples was 65.39% and the total unsaturated fatty acid (TUFA) content was 30.03% on the first day. The saturated fatty acid (SFA) and total unsaturated fatty acid (TUFA) contents at the end of storage were 64.82% and 28.59%, respectively. Carta *et al.* (2008) found that the ratio of monounsaturated fatty acids (MUFA) and polyunsaturated fatty acids (PUFA) was approximately 28% and 6%, respectively, in sheep's milk, and the saturated fatty acid (SFA) level in milk fat was also quite high (more than 60%) was shown. Accordingly, the monounsaturated fatty acid (MUFA) content (26.55%) and polyunsaturated fatty acid (PUFA) content (3.48%) of this study were lower than the values determined in sheep's milk by Carta *et al.* (2008).

The saturated fatty acid (SFA) content of cow's clotted cream (first day) the content of monounsaturated (MUFA) and polyunsaturated fatty acids (PUFA) was found to be 61.66%, 32.29% and 2.66%, respectively. It was determined that the saturated fatty acid (SFA) content (61.66%) in cow clotted cream of this study was lower than the fatty acid results of the cow cream samples analyzed by Tosun (2016). PUFA and SFA contents of sheep cream and cow cream samples in this study were observed to be lower than the values given by Sbihi *et al.* (2015).

The lowest SFA value (50.24%) was determined in goat's milk compared to other milks. During storage, it was found that this value (47.56) decreased gradually in clotted cream. Polyunsaturated fatty acid (PUFA) content of 6.16% and saturated fatty acid (SFA) content of 67.04% were determined in goat milk by Sbihi *et al.* (2015).

Şenel (2011) determined that there was a decrease in the total value of short-chain fatty acids (SCFA) and medium-chain fatty acids (MCFA) in Afyon clotted cream at the end of storage (7 day), but there was an increase in the total value of unsaturated free fatty acids. Tosun (2016) stated that in stored cream samples, the content of polyunsaturated fatty acids (PUFA) decreased by oxidation, while the content of saturated fatty acids (SFA)

increased during storage. In the study, it is stated that this is an indicator of oxidation of linolenic (C18:3) acid and decreases in all clotted cream samples during storage.

Table 1. Fatty acid content of cow, goat and sheep clotted cream (%)

Fatty acid Days	C		G		E	
	1	7	1	7	1	7
SFA	61.66	60.72	50.24	47.56	65.39	64.82
C4:0	1.22±0.47	1.20±0.00	2.32±0.38	2.34±0.13	1.21±0.11	1.25±0.10
C6:0	0.85±0.28	0.86±0.00	2.76±0.11	3.60±0.55	1.12±0.22	1.14±0.02
C8:0	0.60±0.15 ^b	0.59±0.00 ^b	4.85±1.06	5.18±0.10	1.14±0.21 ^a	1.17±0.06 ^a
C10:0	1.54±0.17 ^b	1.46±0.03 ^b	17.88±2.97	12.16±2.06	3.75±0.56 ^a	3.92±0.44 ^a
C11:0	0.16±0.02 ^a	0.14±0.01 ^a	14.97±2.85	16.56±1.31	-	-
C12:0	2.79±0.00	2.39±0.07	0.22±0.04	0.24±0.01	2.53±0.10	2.58±0.29
C13:0	-	-	5.20±0.73	5.89±0.41	-	-
C14:0	10.14±0.38	9.52±0.17	-	-	9.77±0.06	9.71±0.51
C15:0	0.94±0.04 ^b	0.92±0.01 ^b	0.29±0.06	0.27±0.00	1.25±0.03 ^a	1.23±0.06 ^a
C16:0	30.88±0.07 ^a	30.69±0.47 ^a	-	-	28.92±0.07 ^b	28.43±0.40 ^b
C17:0	0.76±0.05 ^b	0.77±0.04 ^b	0.48±0.05	0.45±0.01	0.91±0.01 ^a	0.93±0.03 ^a
C18:0	11.57±0.01 ^c	11.96±0.07 ^b	-	-	14.18±0.13 ^a	13.89±0.19 ^a
C20:0	-	-	0.88±0.37	0.59±0.05	-	-
C21:0	-	-	0.39±0.07	0.28±0.03	-	-
C22:0	0.21±0.00 ^b	0.22±0.00 ^b	-	-	0.44±0.02 ^a	0.43±0.02 ^a
C23:0	-	-	-	-	0.03±0.04	-
C24:0	-	-	-	-	0.14±0.16	0.14±0.16
TUFA	34.95	36.31	43.00	46.07	30.03	28.59
MUFA	32.29	33.22	32.32	35.36	26.55	25.24
C14:1	0.68±0.08 ^a	0.75±0.02 ^a	8.91±0.63	10.08±0.42	-	-
C15:1	-	-	0.88±0.02	0.99±0.02	-	-
C16:1	2.15±0.07 ^a	2.03±0.02 ^a	17.25±0.26	19.03±0.30	1.35±0.04 ^b	1.35±0.06 ^b
C17:1	0.31±0.09 ^a	0.29±0.09 ^a	0.39±0.01	0.36±0.01	-	-
C18:1n9t	2.46±0.25 ^a	2.14±0.10 ^a	3.91±0.39	4.17±0.29	1.14±1.32 ^{a,b}	-
C18:1n9c	26.35±1.47 ^a	27.76±0.10 ^a	0.98±0.39	0.73±0.05	22.06±1.60 ^b	22.07±1.03 ^b
C20:1	0.22±0.03 ^b	0.20±0.03 ^b	-	-	1.83±0.03 ^a	1.82±0.02 ^a
C22:1n9	-	-	-	-	0.17±0.00 ^a	-
C24:1	0.12±0.18	0.05±0.00	-	-	-	-
PUFA	2.66	3.09	10.68	10.71	3.48	3.35
C18:2n6t	0.20±0.00 ^a	0.20±0.00 ^a	9.16±1.67	8.90±0.55	-	-
C18:2n6c	2.23±0.00 ^{b,c}	2.62±0.01 ^a	-	-	2.01±0.22 ^c	2.34±0.06 ^{a,b}
C18:3n3	-	-	0.6±0.2	0.48±0.03	1.01±0.04 ^a	1.01±0.03 ^a
C20:3n3	0.23±0.02 ^a	0.27±0.00 ^a	-	-	0.10±0.11	-
C20:5n3	-	-	-	-	0.21±0.24	-
C22:2	-	-	0.92±0.52	1.33±0.67	0.10±0.02 ^a	-
C22:6n3	-	-	-	-	0.05±0.05	-

* a,b,c: Small letters indicate that the difference is statistically significant ($p < 0.01$).

SFA: Saturated fatty acids; TUFA: Total unsaturated fatty acids; MUFA: Monounsaturated fatty acids, PUFA: Polyunsaturated fatty acids.

C: Cow clotted cream, G: Goat clotted cream, E: Sheep clotted cream

The butyric acid (C4:0) produced by bacterial fermentation was found to be 1.21 and 1.22 in sheep's clotted cream and cow's clotted cream, respectively. It was determined that the butyric acid (2.32-2.34) was higher in the clotted cream produced from goat's milk. Accordingly, the butyric acid in cow clotted cream was determined to be lower than the butyric acid value (2.70 ± 0.27) of cow cream samples determined by Tosun (2016). Myristic acid (C14:0) is one of the most determined medium chain fatty acids in clotted cream samples (C8:0-C15:1). On the first and seventh days, myristic acid levels were determined as 10.14 and 9.52 in cow clotted cream and 9.77 and 9.71 in sheep clotted cream, respectively. However, myristic acid was not determined in goat clotted cream during storage. It was observed that the caprylic acid (C8:0) level was highest in sheep clotted cream (1.14-1.17) and lowest in goat clotted cream (4.85-5.18) during storage. It was determined that the capric acid (C10:0) level (17.88-12.16) of goat clotted cream during storage was considerably higher than the other clotted creams (between 1.46 and 3.92). On the 7th day of storage, lauric acid (C12:0) levels of cow, goat and sheep clotted cream were found to be 2.39, 0.24 and 2.58, respectively, and the lowest value was found in goat clotted cream. In addition, at the end of storage, the level of pentadecanoic acid (C15:0) was lower in goat clotted cream (0.27). The highest level of pentadecanoic acid was found in sheep clotted cream (1.23). It has been reported that the mean

values of caprylic acid, capric acid and myristic acid in Afyon clotted cream are 8.21, 17.41 and 198 mg/kg, respectively (Şenel, 2011).

It was determined that palmitic acid (C16:0) and linolenic acid (C18:3) are the longest chain fatty acids (C16:0-C18:3) in both clotted cream varieties (sheep and cow). In addition, palmitic acid levels were determined to be $28.92 \pm 0.07\%$ in sheep's clotted cream and $30.88 \pm 0.07\%$ in cow's clotted cream. Palmitic acid level was found to be similar to the values reported by Akyıldız (2008) and Atasoy and Türkoğlu (2010).

The ratio of palmitoleic (C16:1), linoleic acid (C18:2 n6t) and elaidic (C18:1 n9t) acid level in goat's clotted cream is much higher than in other clotted cream. The elaidic (C18:1 n9t) acid was detected at least in sheep's clotted cream. According to these fatty acid values, it can be said that sheep clotted cream may be more advantageous for heart patients. In a study, it was stated that this ratio was lower in goat milk than in cow milk (Haenlein, 2004). It is thought that the stages of clotted cream production may have changed the ratio of this fatty acid.

3.3. Volatile Aroma Compounds

Carbonyl components of the sheep, cow and goat clotted cream produced in this study are given in Tables 2, 3, 4 during storage. When the tables are examined, it is seen that the volatile components are less in both variety and amount in cow clotted cream, but more in goat clotted cream. In addition, at the end of storage, it was determined that there was a decrease in the carbonyl compounds of cow clotted cream, but an increase in sheep and goat clotted cream.

Aldehydes which have a significant effect on taste are the first oxidation products of primary alcohols. Alcohols are formed by the reduction of aldehydes, and acids are formed by oxidation of aldehydes. The smell of low-molecular aldehydes is pungent, and as the number of carbon atoms in the molecule increases, odors that affect taste are formed. Since aldehydes are transitional compounds, they do not accumulate in the product and immediately turn into alcohols or suitable acids (Kahyaoğlu, 2014). Aldehydes can be formed by Strecker degradation of amino acids, and linear aldehydes can be formed by β -oxidation of unsaturated fatty acids (Kesenkaş and Akbulut, 2006). Azine aldehyde (5.67%) was determined on the first day of cow clotted cream, but no aldehyde was detected on the seventh day. However, it was determined that the dominant carbonyl component in sheep (71.47-64.55%) and goat (76.18-50.79%) clotted creams during storage was 2-methylbutyraldehyde. In addition, pentanal, pelargonaldehyde and enanthaldehyde were detected in goat clotted cream.

Hydrocarbons can be produced directly from feed or during maturation as a result of lipid autooxidation (Albay, 2022). The dominant carbonyl component in cow clotted cream was found to be n-hexane hydrocarbon. At the end of storage, n-hexane level increased, but toluene level decreased and total hydrocarbon level and variety decreased. In addition, at the end of the storage, no hydrocarbon was formed in goat clotted cream, but toluene component was determined from sheep clotted cream.

There was a decrease in terpene levels with storage in sheep and cow clotted cream. In goat clotted cream, it was observed that terpenes were formed more than other clotted creams, and the variety and level of terpenes increased with storage. Furthermore, on the seventh day of storage in goat clotted cream, limonene (9.09%) was the third dominant carbonyl component. Terpenes are compounds related to animal feed or pasture, meadow and green fodder. Ketones have typical odors and low detection thresholds (Albay, 2022). Ketone formation occurred in goat clotted cream more than others. On the first day of storage, the second dominant carbonyl component of goat clotted cream was 2-propanone acetone (11.74%) ketone component and total ketone level decreased with storage.

Alcohols can be formed by different metabolic pathways such as amino acid metabolism, lactose metabolism, reduction of methyl ketones and breakdown of linolenic or linoleic acid (Collins *et al.*, 2003; Kesenkaş and Akbulut, 2006). Alcohol was formed on the seventh day (0.23%) of sheep's clotted cream, on the first day of cow's clotted cream (0.08%), and on the first (0.37%) and seventh (1.02%) days of goat's clotted cream. Acids formed by proteolysis, lipolysis and glycolysis reactions or produced by microorganisms are important for the aroma of food (Kahyaoğlu, 2014). At the end of storage, propiolic acid (1.42%) was formed in cow clotted cream and propionic acid (0.44%) in goat clotted cream. In particular, various esters, such as ethyl esters of fatty acids C4-C10, can be found in raw cow, goat, sheep and buffalo milk. Although esters have a positive effect on taste at low concentrations, they can cause fruity taste disorders at high concentrations (Ertekin and Seydim, 2009). On the seventh day of sheep (28.67%) and goat (18.42%) clotted creams, the second dominant carbonyl component was acetate isopropyl- ester component. On the seventh day of cow clotted cream, only pyridine and ethyl acetate esters were formed, while in goat clotted cream, esters were formed during storage and ester variety was more.

Tosun (2016) reported that 40 aroma components consisting of 12 hydrocarbons, 9 terpenes, 5 acids, 4 ketones, 4 alcohols, 3 aldehydes, and 3 esters were formed in cream samples during storage. It was also stated that aldehydes, esters, acids, terpenes and ketones increased due to oxidation during storage.

Şenel (2011) determined the amount of some carbonyl compounds (acetaldehyde, acetone, butanone-2 and diacetyl) in Afyon clotted cream. It was determined that the acetone level (7.73 mg/kg) on the first day had the highest level compared to other carbonyl compounds. Acetaldehyde, butanone-2, and diacetyl were reported to be 4.50 mg/kg, 2.18 mg/kg, and 4.11 mg/kg, respectively.

Examining the volatile aroma properties of Ispir dry clotted cream, Cakmakçı and Hayaloglu (2011) determined that there are 73 volatile substances (such as chloroform, toluene, hexane, heptane) in these samples consisting of 26 esters, 9 alcohols, 9 ketones, 8 terpenes, 5 aldehydes, 3 acids and 13 other various compounds. It was determined that Ispir clotted cream is characterized by high levels of esters.

Kahyaoğlu (2014), who examined the butters obtained from cow, sheep and goat milk stored for 90 days, found 126 volatile aroma compounds in total. As a result of the research, heptanal, octanal, 2,3-butanedione, butanoic acid 2-methylpropyl ester, carbonic acid diethyl ester, azulene, butane 2-3, dimethyl were found in cow butter, while 2-decanal, 5-methyl-2-hexanol, 1-heptanol-6-methyl, 2-butanol-3-methyl, alpha-terpinen, gamma-terpinen, 1,3-oktadien were determined in sheep butter. It was determined that 2,4-hexadienal, 2-octanone, formic acid pentyl ester, 6-octen-1-ol 3,7-dimethyl, heptanol, 1-nonanol in goat butter. Most of the aldehyde and ketone compounds are in cow butter; Acid, terpene and hydrocarbon compounds are mostly in sheep butter; It has been reported that ester, alcohol, sulfur and other compounds are mostly found in goat butter.

During the storage of milk fat as a result of lipid oxidation, volatile bad taste-aroma compounds such as hydroxyl acids are formed. These components negatively affect taste and quality (Kocaoğlu, 2009).

Table 2. Carbonyl compounds of sheep clotted cream during storage

Storage Time (Days)	1		7		
Components	RT(min)	%	Components	RT(min)	%
Aldehydes			Aldehydes		
2-Methylbutiraldehyd	1.829	71.47±4.14 ^a	2-Methylbutiraldehyd	1.826	64.55±3.56 ^a
Acid			Esters		
Isopropylsulfonyl chloride	1.934	14.93±0.23	Acetate isopropyl-	2.642	28.67±2.78
Alkane			Terpenes		
Pentane	2.550	3.95±0.18	(1S)-α-Pinene	8.570	1.78±0.45
Heptane	2.699	1.65±0.14	Ketones		
1-Bromopropane	1.719	0.34±0.07	Acetoin	2.825	0.92±0.33
Hydrocarbone			Alcohol		
2,2,4-trimethyl-Toluene	3.788	3.75±0.08	Ethanol	1.375	0.23±0.12
Terpene			Alkane		
(1S)-α-Pinene	8.576	3.73±0.12	Pentane, 2,2,4-trimethyl-	2.537	1.78±0.23
Ketones			n-Butane	1.446	0.11±0.03
4-Methyl-2-thiapentane	3.942	0.02±0.01	Butane, 2,3-dimethyl-	1.663	0.08±0.01
Others			1,6-Heptadiene	2.642	0.07±0.01
3-Pentanethiol	1.681	0.16±0.01	n-Heptane	2.688	0.43±0.04
			Hydrocarbones		
			Toluene	3.802	0.53±0.11
			Others		
			Nitrous oxide	1.231	0.49±0.09
			Isobutyl nitrite	1.739	0.35±0.17

RT: Retention Time

Table 3. Carbonyl compounds of cow clotted cream during storage

Storage Time (Days)	1		7		
Components	RT (min)	%	Components	RT (min)	%
Hydrocarbones			Hydrocarbones		
n-Hexane	1826	79.60±2.11	n-Hexane	1826	84.71±3.12
Pentane, 2,2,4-trimethyl-	2550	1.16±0.11	Toluene	8570	0.35±0.08
Toluene	3809	1.52±0.15	2-Bromopropane	1756	0.33±0.03
1,3,6-Octatriene, 3,7 -dimethyl-, (Z)-	11407	2.94±0.52	Terpenes		
Propane, 2-nitro-	1752	0.24±0.05	Bicyclo[3.1.1]hept-2-ene, 2,6,6,trimethyl-, (+/-)-	2699	5.16±0.62
Aldehydes			n-Heptane	3809	0.49±0.07
Azine	3369	5.67±0.31	Esters		
Terpenes			Pyridine	2785	3.19±0.42
Bicyclo[3.1.1]hept-2-ene, 2,6,6- trimethyl-, (+/-)-	8570	5.62±0.45	Ethyl acetate	1929	2.81±0.21
n-Heptane	2699	0.69±0.09	Hydrocarbones		
Carboxylic acides			Pentane, 2,2,4-trimethyl-	2550	1.54±0.17
Ethyl acetate	1929	2.46±0.24	Fatty Acid		
Alcohols			Propiolic acid	2620	1.42±0.12
2-Furanol, tetrahydro-2,3-dimethyl	1675	0.08±0.01			

RT: Retention Time

Table 4. Carbonyl compounds of goat clotted cream during storage

Storage Time (Days)	1		7		
Components	RT(min)	%	Components	RT(min)	%
Aldehydes			Aldehydes		
2-Methylbutyraldehyde	1.829	76.18±1.05 ^a	2-Methylbutyraldehyde	1.802	50.79±4.02 ^b
Pentanal	1.790	0.12±0.03	Pelargonaldehyde	7.684	0.22±0.12
Ketones			Enanthaldehyde	7.684	0.14±0.05
2-Propanone Acetone	1.427	11.74±1.68	Esters		
2-Heptanone Heptan-2-one	7.263	0.38±0.11	Acetate isopropyl-	1.430	18.42±1.12
2-Pentanone Methyl propyl ketone	2.550	0.24±0.05	Butyrate ethyl-	4.637	2.90±1.11
Terpenes			Formate isobutyl-	7.585	1.64±0.41
Limonene	12.384	4.13±0.71	Capronate ethyl-	11.305	0.71±0.21
2-Beta.-Pinene	10.363	0.43±0.19	Acetate butyl-	4.993	0.57±0.23
m-Cymene	12.205	0.42±0.18	Ethanoate hexyl-	11.830	0.46±0.16
Alpha.-Pinene, (-)-	8.731	0.23±0.15	Formate butyl-	2.316	0.42±0.14
Sabinene	10.210	0.21±0.11	Propionate isobutyl-	5.991	0.28±0.09
Gamma.-Terpinene	13.530	0.15±0.05	Formate isoamyl-	3.910	0.25±0.08
Hydrocarbons			Isobutyrate methyl-	1.655	0.22±0.03
Propane, 1-bromo- 1-Bromopropane	1.726	4.08±0.13	Acetate amyl-	6.931	0.19±0.02
Ester			Capronate butyl-	4.050	0.12±0.03
Butanoic acid, ethyl ester	4.637	0.74±0.21	Isobutyrate isobutyl-	7.585	0.11±0.01
Capronate ethyl-	11.302	0.24±0.16	Terpenes		
Acetic acid, butyl ester n-Butyl acetate	4.992	0.16±0.09	Limonene	12.389	9.09±0.87
Ethanoate hexyl-	11.827	0.15±0.04	Pinene beta-	8.736	0.85±0.15
Propanoate ethyl-	2.877	0.05±0.01	Cymene para-	12.220	0.63±0.18
Alcohols			Eucalyptol	12.525	0.50±0.14
1-Pentanol Amylol	1.653	0.16±0.01	Sabinene	10.218	0.47±0.21
1-Butanol, 3-methyl-	3.291	0.12±0.02	Pinene alpha-	8.731	0.46±0.09
2-Methyl-1-butanol	3.356	0.09±0.01	Terpinene gamma-	13.530	0.45±0.11
			Carene delta-3-	11.584	0.20±0.08
			Ketones		
			Propyl methyl ketone	2.195	3.41±0.72
			Methyl isobutyl ketone	2.395	1.50±0.51
			Amyl methyl ketone	6.520	1.30±0.62
			Pimelic ketone	6.651	0.78±0.18
			Heptyl methyl ketone	14.875	0.34±0.15
			Acetylpropionyl	2.640	0.24±0.10
			Hept-5-en-2-one 6-methyl-	10.759	0.18±0.08
			Alcohols		
			Pent-2(Z)-enol	3.354	1.02±0.06
			Sulphur Compound		
			Mercaptan sec-amyl-	3.289	0.68±0.07
			Fatty Acid		
			Propionic acid	2.880	0.44±0.13

RT: Retention Time

* a,b: Small letters indicate that the difference is statistically significant (p<0.01).

3.4. Tocopherol content

The amounts of tocopherol determined in sheep, goat and cow clotted cream stored for 7 days are shown in Table 5. The most α -tocopherol was detected in all clotted cream samples. The amount of α -tocopherol was found to be 24.14 ppm in sheep's clotted cream, 19.18 ppm in cow's clotted cream, and 18.23 ppm in goat's clotted cream. It was determined that the amounts of β -tocopherol, γ -tocopherol and δ -tocopherol in sheep clotted cream were 0.05 ± 0.00 , 0.24 ± 0.01 and 0.02 ± 0.00 ppm, respectively, and in cow clotted cream, the amounts of β -tocopherol and γ -tocopherol were 0.40 ± 0.12 and 0.98 ± 0.01 ppm, respectively. γ -tocopherol wasn't determined in clotted cream produced from goat and cow's milk. It was observed that the tocopherol amounts of all three clotted creams decreased in general during storage.

In a study, it was found that the amount of vitamin E in dairy products was 21.7 $\mu\text{g/g}$ (Hewavitharana et al., 1996). In a study on goat milk, it was reported that 70.9% of α -tocopherol and 22.02% of β -tocopherol were found (Sbihi et al., 2015). Gornas et al. (2014) found the α -tocopherol contents of butter samples sold in local markets in Poland and Latvia to be 2.00-16.92 mg/100 g and 2.61-2.98 mg/100 g, respectively. Derewiaka et al. (2011) determined 1-4 mg/100g tocopherol in milk fat. Karabulut (2010), examined the effects of α -tocopherol on the oxidative stability of butter fat triacylglycerols, determined that α -tocopherol provided the most effective antioxidant protection at a concentration of 50 $\mu\text{g/g}$. The amount of α -tocopherol was determined approximately half of this value in cow, goat and sheep clotted cream samples. It is thought that this situation is caused by the milk fat ratio in clotted cream and butter. In this study, the fat ratios of cow, sheep and goat clotted creams varied between 53.5% and 56.5%, while the fat ratios of cow, sheep and goat butters varied between 81.64% and 81.78% in the study by Kahyaoglu (2014).

Table 5. Amounts of tocopherols in cow's, goat's and sheep's clotted cream (ppm)

Tocopherol	C		G		E	
	1	7	1	7	1	7
α -tocopherol	19.18 \pm 1.50 ^b	6.35 \pm 1.20 ^c	18.23 \pm 2.75 ^b	15.18 \pm 0.18 ^b	24.14 \pm 0.25 ^a	21.48 \pm 0.90 ^{a,b}
β -tocopherol	0.40 \pm 0.12 ^a	0.14 \pm 0.03 ^b	0.04 \pm 0.00 ^c	0.03 \pm 0.00 ^c	0.06 \pm 0.00 ^c	0.05 \pm 0.00 ^c
γ -tocopherol	0.98 \pm 0.01 ^a	0.35 \pm 0.07 ^b	0.45 \pm 0.03 ^b	0.58 \pm 0.21 ^b	0.27 \pm 0.01 ^c	0.24 \pm 0.02 ^c
δ -tocopherol	-	-	-	-	0.02 \pm 0.00 ^a	0.02 \pm 0.00 ^a

*a,b,c: Small letters indicate that the difference is statistically significant ($p < 0.01$).

C: Cow clotted cream, G: Goat clotted cream, E: Sheep clotted cream

4. Conclusion

In this study, some chemical properties, free fatty acids, carbonyl compounds and tocopherol contents of sheep, goat and cow clotted cream which are generally produced for breakfast were determined. It is seen that clotted cream produced from goat milk contains much more flavoring substance than other clotted creams and is very different in fatty acid composition. It has been determined that sheep clotted cream contains some fatty acids (monounsaturated fatty acids, EPA, DHA, etc.), which are important for health, with higher α -tocopherol content. It has been observed that sheep or goat clotted creams to be produced as an alternative to clotted cream produced from cow's milk have many important components. It is thought that the production of these clotted creams should be expanded and that these products will make an important contribution to dairy technology in terms of economy and health.

Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

References

- Akalin, A.S., Gönc, S., Ünal, G., Okten, S., 2006. Determination of Some Chemical and Microbiological Characteristics of Kaymak. *Grasas Y Aceites*, 57 (4), 429-432.
- Akalin, A.S., Tokusoglu, O., Gönc, S., Okten, S., 2005. Detection of Biologically Active Isomers of Conjugated Linoleic Acid in Kaymak. *Grasas Y Aceites*, 56 (4), 298-302.
- Akarca, G., Tomar, O., Çağlar, A., 2014. Production of Afyon Kaymak with Traditional and Technological Methods. *Journal of Food Science and Engineering*, 4, 115-119.
- Akyıldız, K., 2008. Determination of Trans Fatty Acids of Milks in Supermarkets in Konya, Turkey. Selçuk University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Master Thesis, Konya, Türkiye.
- Albay, Z., 2022. The Effect of Inulin and Wheat Fiber Addition to Low-Fat Milk on Some Properties of Probiotic Tulum Cheese. Süleyman Demirel University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Food Engineering, PhD Thesis, Isparta, Türkiye.

- Albay, Z., Şimşek, B., 2019. Tarçın ve Tarçın Uçucu Yağı ile Üretilen Kaymakların Bazı Özelliklerinin Belirlenmesi” X. International Multidisciplinary Congress of Eurasia (IMCOFE), 06-08 August,, Young Scholars Union Congress Proceeding & Abstracts Book, 191-203, Prague, Czechia.
- AOAC, 2000. In Official Methods of Analysis of AOAC International (Vol. 17). Washington DC: Association of Official Analytical Chemists.
- AOAC, 2005. AOAC Official Method 996.06, Revised 2001. In: (eds) Official Methods of Analysis (18th Ed.). AOAC International, Gaithersburg, MD.
- Atamer, M., Şenel, E., Hayaloğlu, A., Özer, B., 2016. Textural Structure of Kuru Kaymak (Dry Clotted Cream). *Akademik Gıda*, 14 (2), 189-195.
- Atasoy, A.F., Türkoğlu, H., 2010. A Study on Investigation of Free Fatty Acid Contents of Sadeyağ (Urfa Yağı) Produced and Marketed in Şanlıurfa. *Journal of the Faculty of Agriculture of Harran University*, 14 (2), 9-12.
- Cakmakçı, S., Hayaloglu, A.A., 2011. Evaluation of the Chemical, Microbiological and Volatile Aroma Characteristics of Ispir Kaymak, A Traditional Turkish Dairy Product. *International Journal of Dairy Technology*, 64 (3), 444-450.
- Carta, A., Casu, S., Usai, M.G., Addis, M., Fiori, M., Fraghi, A., Miari, S., Mura, L., Piredda, G., Schibler, L., Sechi, T., Elsen, J.M., Barillet, F., 2008. Investigating the Genetic Component of Fatty Acid Content in Sheep Milk. *Small Ruminant Research*, 79, 22-28.
- Collins, Y.F., McSweeney, P.L.H., Wilkinson, M.G., 2003. Lipolysis and Free Fatty Acid Catabolism in Cheese: A Review of Current Knowledge. *International Dairy Journal*, 13, 841-866.
- Derewiaka, D., Sosinska, E., Obiedzinski, M., Krogulec, A., Czaplicki, S., 2011. Determination of the Adulteration of Butter. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 113, 1005-1011.
- Dewhurst, R.J., Shingfield, K.J., Lee, M.R.F., Scollan, N.D., 2006. Increasing the Concentrations of Beneficial Polyunsaturated Fatty Acids in Milk Produced by Dairy Cows in High-Forage Systems. *Animal Feed Science and Technology*, 131, 168-206.
- Ertekin, B., Seydim, Z., 2009. Laktoz, Sitrat ve Lipit Metabolizmalarının Peynirde Lezzet Bileşenlerinin Oluşumuna Etkileri. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 46, 97-104.
- Gornas, P., Siger, A., Czubinski, J., Dwiecki, K., Seglina, D., Nogala-Kalucka, M., 2014. An Alternative RP-HPLC Method for the Separation and Determination of Tocopherol and Tocotrienol Homologues as Butter Authenticity Markers: A Comparative Study between Two European Countries. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 116, 895-903.
- Haenlein, G.F.W., 2004. Goat Milk in Human Nutrition. *Small Rumin Research*, 51, 155-163.
- Hewavitharana, A.K., Van Brakel, A.S., Harnett, M., 1996. Simultaneous Liquid Chromatographic Determination of Vitamins A, E and β -carotene in Common Dairy Foods. *International Dairy Journal*, 6, 613-624.
- Jokovic, N., Nikolic, M., Begovic, J., Jovcic, B., Savic, D., Topisirovic, L., 2008. A Survey of the Lactic Acid Bacteria Isolated from Serbian Artisanal Dairy Product Kajmak. *International Journal of Food Microbiology*, 127, 305-311.
- Kahyaoglu, D.T., 2014. The Determination of Volatile Compounds, Oxidation Stability and Some Quality Characteristics of Butters Produced from Cow, Sheep and Goat Milk during Storage Period. Atatürk University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Ph.D. Thesis, Erzurum, Türkiye.
- Karabulut, İ., 2010. Effects of α -tocopherol, β -carotene and Ascorbyl Palmitate on Oxidative Stability of Butter Oil Triacylglycerols. *Food Chemistry*, 123, 622-627.
- Kesenkaş, H., Akbulut, N., 2006. The Effects of Some Adjunct Yeast Cultures on the Aroma Compounds of White Cheese. *Ege Üniversitesi Ziraat Fak Dergisi*, 43 (2), 73-84.
- Kocaoğlu, E.A., 2009. A Study on Some Properties of Kaymak Sold in Ankara. Ankara University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Master Thesis, Ankara, Türkiye.
- Kocatürk, K., Gökçe, Ö., Ergin, F., Küçükçetin, A., Gürsoy, O., 2019. Some Properties and Conjugated Linoleic Acid Contents of Products Produced by Traditional Methods and Marketed as Buffalo Cream. *Akademik Gıda*, 17 (4), 476-484.
- Lampi, A.M., Kataja, L., Kamal-Eldin, A., Piironen, V., 1999. Antioxidant Activities of α - and γ -tocopherols in the Oxidation of Rapeseed Oil Triacylglycerols. *Journal of American Oil Chemistry Society*, 76, 749-755.
- Pamuk, S., 2017. Production of Traditional Afyon Kaymağı. *Atatürk Üniversitesi Veteriner Bilimleri Dergisi*, 12 (1), 84-89.
- Panseri, S., Soncin, S., Chiesa, L.C., Biondi, P.A., 2011. A Headspace Solid-Phase Microextraction Gas-Chromatographic Mass-Spectrometric Method (HS-SPME-GC/MS) to Quantify Hexanal in Butter during Storage as Marker of Lipid Oxidation. *Food Chemistry*, 127 (2), 886-889.
- Sbihi, H.M., Nehdi, L.A., Tan, C.P., Al-Resayes, S.I., 2015. Characteristics and Fatty Acid Composition of Milk Fat from Saudi Aradi Goat. *Grasas y Aceites*, 66 (4), 1-8.
- Şenel, E., 2011. Some Carbonyl Compounds and Free Fatty Acid Composition of Afyon Kaymağı (Clotted Cream) and Their Effects on Aroma and Flavor. *Grasas Y Aceites*, 62 (4), 418-427.
- Tosun, F., 2016. Effect of Exopolysaccharide Producing Lactic Cultures on Quality Characteristics of Butter, Churn Butter and Cream (Kaymak). Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Ph.D. Thesis. Kayseri, Turkey.
- Yang, X., Peppard, T., 1994. Solid Phase Microextraction for Flavor Analysis. *Journal of Agriculture Chemistry*, 42, 1925-1930.
- Yılsay, T.O., Bayazit, A.A., 2002. Determination of Microbiological Properties and Some Pathogenic Microorganisms of Kaymak Presented for Consumption in Bursa. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 16, 77-86.



KARACAÖREN BARAJ GÖLLERİ VE ÇEVRESİ İÇİN STANDARTLAŞTIRILMIŞ YAĞIŞ İNDEKSİ (SYİ) YÖNTEMİ İLE KURAKLIK SINIFLAMASI VE ETKİSİNİN BELİRLENMESİ

Simge VAROL^{1*}, Mehmet ULUSOY²

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

² Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Su Bilimleri ABD., Isparta, Türkiye

Anahtar Kelimeler

*Kuraklık Analizi,
Standartlaştırılmış Yağış
İndeksi (SYİ) Yöntemi,
Karacaören Baraj Gölleri.*

Öz

Bu çalışmada Antalya havzasının önemli su kaynaklarından biri olan Karacaören-1 ve 2 Baraj Gölleri ve çevresindeki meteorolojik kuraklık Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SYİ) yöntemi ile belirlenmeye çalışılmıştır. Isparta ve Antalya DM istasyonlarında ölçülen yağış verileri kullanılmış ve bölge için kuraklık sınıflamaları yapılmıştır. Isparta DMİ verilerine göre bölgede 94 yıl içerisinde sadece 1 yıl (1969) "Aşırı Nemli", %4.26 "Orta Derecede Kurak", %6.38 "Şiddetli Kurak" ve %4.26 "Aşırı Kurak" geçmiştir. Antalya DMİ verilerine göre ise 93 yılın %2.15'i "Aşırı Nemli", %11.83 "Orta Derecede Kurak", %2.15 "Şiddetli Kurak" ve %3.22 "Aşırı Kurak" olarak geçmiştir. Her iki meteoroloji istasyonundaki kuraklık durumu birlikte değerlendirildiğinde kuraklığın farklı şiddetlerde benzer dönemlerde etkisini gösterdiği görülmüştür. Ayrıca kurak dönemlerdeki Karacaören-1 ve 2 Baraj Göllerinin seviye ve hacim değişiklikleri incelenmiştir. Buna göre Karacaören-1 Baraj gölü seviye ve hacim ve kuraklık analiz sonuçları birlikte değerlendirildiğinde Isparta ve Antalya DM istasyonları verilerinden hazırlanan kuraklık analizleri ile Karacaören-1 Baraj Gölü seviye ve hacim değişikliklerinde uyumluluk olduğu gözlemlenmiştir. Özellikle her iki istasyonda tespit edilen 1995, 2000-2003 yılları arası ile 2016-2022 yılları arasında gözlemlenen kuraklıklarda Karacaören-1 Baraj Gölü seviye ve hacimlerinde de düşüşler olduğu görülmüştür. Karacaören-2 Baraj Gölünde ise 2006-2007 yıllarındaki yoğun yağışlara bağlı olarak baraj göl seviyesinde dikkat çeken bir artış belirlenmiştir.

DROUGHT CLASSIFICATION AND DETERMINATION OF ITS EFFECT BY STANDARDIZED PRECIPITATION INDEX (SPI) METHOD FOR KARACAÖREN DAM LAKES OF ITS SURROUNDINGS

Keywords

*Drought Analysis,
Standardized Precipitation
Index (SPI) Method,
Karacaören Dam Lakes.*

Abstract

In this study, the meteorological drought in and around Karacaören-1 and 2 Dam Lakes, which are one of the important water resources of the Antalya basin, was tried to be determined by the Standardized Precipitation Index (SPI) method. Precipitation data measured at Isparta and Antalya DM stations were used and drought classifications were made for the region. According to Isparta DMI data, only 1 year (1969) was "Extremely Humid", 4.26% "Moderate Arid", 6.38% "Severe Arid" and 4.26% "Extreme Arid" in 94 years in the region. According to Antalya DMI data, 2.15% of the 93 years were "Extremely Humid", 11.83% "Moderate Arid", 2.15% "Severe Arid" and 3.22% "Extreme Arid". When the drought situation in both meteorological stations was evaluated together, it was seen that the drought had an effect at different intensities in similar periods. In addition, the level and volume changes of Karacaören-1 and 2 Dam Lakes in dry periods were investigated. Accordingly, when the Karacaören-1 Dam Lake level, volume and drought analysis results are evaluated together, it has been observed that there is a compatibility between the drought analyzes prepared from the data of Isparta and Antalya DM stations and the level and volume changes of Karacaören-1 Dam Lake. Especially in the droughts observed between 1995, 2000-2003 and 2016-2022 detected in both stations, it was observed that there were decreases in the levels and volumes of Karacaören-1 Dam Lake. In Karacaören-2 Dam Lake, a remarkable increase was determined in the level of the dam lake due to the heavy rainfall in the years 2006-2007.

* İlgili yazar / Corresponding author: simgevarol@sdu.edu.tr, +90-246-211-1990

Alıntı / Cite

Varol, S., Ulusoy, M., (2023). Karacaören Baraj Gölleri ve Çevresi için Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SYİ) Yöntemi ile Kuraklık Sınıflaması ve Etkisinin Belirlenmesi. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(3), 1142-1153.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

Simge VAROL, 0000-0002-1905-9454
Mehmet ULUSOY, 0000-0002-4445-2864

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	02.05.2023
Kabul Tarihi / Accepted Date	20.07.2023
Yayın Tarihi / Published Date	28.09.2023

DROUGHT CLASSIFICATION AND DETERMINATION OF ITS EFFECT BY STANDARDIZED PRECIPITATION INDEX (SPI) METHOD FOR KARACAÖREN DAM LAKES OF ITS SURROUNDINGS

Simge VAROL^{1†}, Mehmet ULUSOY²

¹ Süleyman Demirel University, Faculty of Engineering, Department of Geological Engineering, Isparta, Turkey

² Süleyman Demirel University, Institute of Science and Technology, Department of Water Sciences, Isparta, Turkey

Highlights

- Karacaören Dam Lakes, which is one of the important water resources of the region, was chosen as the study area.
- Drought classifications were made by using the precipitation data of Isparta and Antalya DM stations selected for the study area with the standardized precipitation index method (SPI).
- It has been determined that meteorological droughts in the region have an effect on the level of Karacaören Dam Lakes.
- Likewise, it is also effective on the volumes of dam lakes according to the size of the droughts.

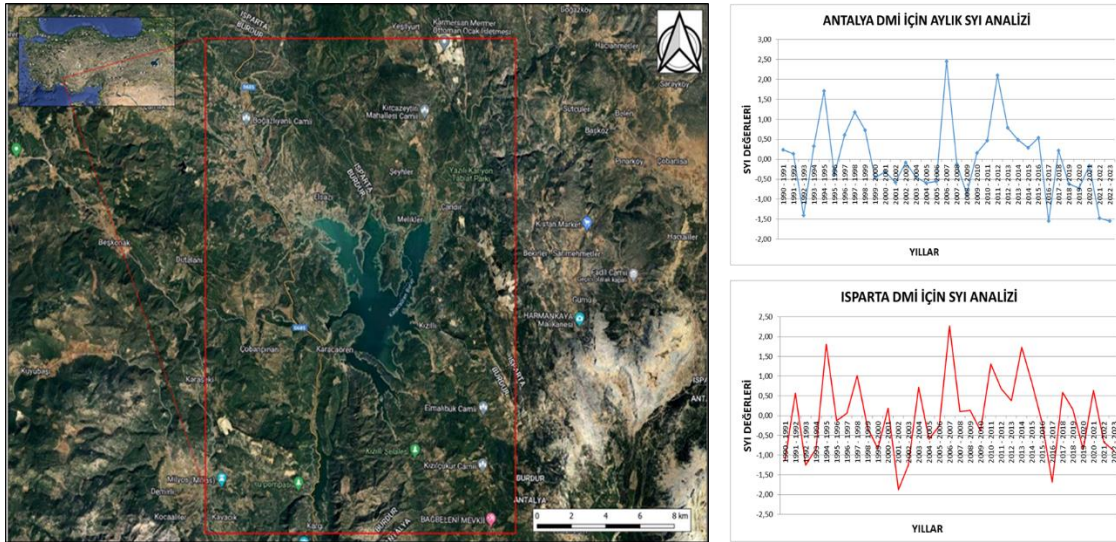
Graphical Abstract

Figure. Drought analysis in and around Karacaören-1 and 2 Dam Lakes

Purpose and Scope

In this study, it is aimed to reveal the dimensions of the meteorological drought caused by global climate change in and around Karacaören-1 and 2 dam lakes by using the standardized precipitation index method. In addition, the effect of drought on the level and volume of Karacaören-1 and 2 dam lakes was also evaluated.

Design/methodology/approach

[†] İlgili yazar / Corresponding author: simgevarol@sdu.edu.tr, +90-246-211-1990

In this study, the Standardized Precipitation Index (SPI) method was used to determine the severity and duration of droughts in and around Karacaören Dam Lake and to classify droughts. For this purpose, precipitation data of Isparta and Antalya State Meteorological Stations (DMI) were used as the closest stations around the study area, since the data of Meteorology stations in the study area do not have the required measurement periods. For both stations, 12-month SPI values were calculated and evaluated according to the Gamma distribution of precipitation data using the DrinC software program.

Findings

In this study, the duration and extent of drought in the region were determined by the Standardized Precipitation Index method (SPI). Here, according to Isparta DMI data, the years 1957, 1986, 1992 and 2011 are "Moderately Arid", the years 1932, 1970, 1972-1973, 1977, 1993 are "Severe Arid" and the years 1989-1990, 1999, 2008 are "Extreme Arid". determined as the period. According to Antalya DMI data, the years 1941, 1948, 1955, 1964, 1972, 1989-1990, 1992, 2014, 2016-2017 were in the "Moderate Drought" period, the years 1957 and 1973 were in the "Severe Arid" period, and the years 1931, 2008 and 2022. was determined as the "Extreme Arid" period. When the drought situation in the regions represented by both meteorology stations is evaluated together, it has been seen that the drought for both stations shows its effect in similar periods at different intensities.

In the study, it was also tried to determine the effect of drought in the region on the level and volume of Karacaören-1 and 2 Dam Lakes. Accordingly, when the Karacaören-1 Dam Lake level, volume and drought analysis results are evaluated together, it has been observed that there is a compatibility between the drought analyzes prepared from the data of Isparta and Antalya DM stations and the level and volume changes of Karacaören-1 Dam Lake. Especially in the droughts observed between 1995, 2000-2003 and 2016-2022 detected in both DM stations, there was a decrease in the level and volume of Karacaören-1 Dam Lake, and in Karacaören-2 Dam Lake due to heavy rainfall in 2006-2007. significant increase was observed.

Research limitations/implications

This article has been prepared with the data of the doctoral thesis carried out in Süleyman Demirel University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Aquatic Sciences. In the next stages of the research, climate data and water quality studies will be included.

Practical implications

The studies within the scope of this research article have not been applied before in and around Karacaören-1 and 2 Dam Lakes, which were selected as the study area. Drought analysis is increasingly important in today's conditions. In the study, index method was applied with only precipitation data. It is recommended to carry out detailed studies with more comprehensive and different climate data.

Social Implications

The drought problem due to global climate change manifests itself in different periods and sizes in every region of the world. It is seen that meteorological drought is effective in the level and volume changes of Karacaören - 1 and 2 Dam Lakes, which are one of the important water resources of the region and located in the Antalya basin and the Lakes Region, which are selected as the study area in this study, which was revealed as an indicator of this. For this reason, it is important to determine the size, duration and spatial distribution of drought in today's world, where the need for water is increasing and access to clean and usable water is increasingly difficult.

Originality

The studies within the scope of this research article have not been applied before in and around Karacaören-1 and 2 Dam Lakes, which were selected as the study area. The study area is one of the important water resources of the region. It is currently used as irrigation water and is a water source that is planned to be used as a drinking water source in the future. Today, the increasing need for water and the demand for clean and usable water are important for the protection of water resources. Drought is also the main problem of water resources. Therefore, this study is important for local and regional people. In this respect, the study is an original research article.

1. Giriş (Introduction)

Dünyamızın var oluşundan itibaren yıllar boyu iklimsel özellikleri değişim halindedir. Özellikle yer kürede insan yaşamının artması, insanoğlu tarafından hayatta kalmak için yapılan çeşitli faaliyetler iklim özelliklerini olumsuz yönde etkilemekte ve küresel iklim değişikliği adı ile insan hayatına yön vermektedir. Artan nüfus, sanayileşme, ormansızlaşma ve fosil yakıt kullanımı gibi pek çok faktör meteorolojik koşulları sürekli değiştirmiş ve kendisi ile birlikte sosyolojik, ekonomik, toplumsal, çevresel gibi pek çok problemi de beraberinde getirmiştir (Partigöç & Soğancı, 2019).

Küresel iklim değişikliğinin neden olduğu en büyük meteorolojik olaylardan birisi ise kuraklıktır. Elbette ki kuraklığı tek bir tanımlama ile açıklamak mümkün değildir. Ancak en genel anlamı ile kuraklık; normalden çok daha az miktarda gerçekleşen yağışlarla ortaya çıkan kısa süreli dönemler şeklinde başlayarak giderek artan şiddet ve sürede gerçekleşen bu şekilde dünya genelinde tarımsal gelişmeyi, yeryüzündeki su döngüsünü, beşeri anlamda dünya ve ülke ekonomisini sonuçta da insanlığı etkileyen doğal bir afettir. (Yüceerim vd., 2019). Bu nedenle kuraklığı 4 farklı türde incelemek mümkündür. Bunlar; meteorolojik, hidrolojik, tarımsal ve sosyo-ekonomik kuraklıktır. Kuraklığın boyutlarını yani etki derecesini, süresini ve gerçekleşeceği zamanı tahmin etmek oldukça zordur. Kuraklık bazen kısa süreli (tek bir mevsim) ve küçük bir bölgeyi etkisi altına alırken önceki iklim verileri göstermiştir ki uzun yıllar boyunca sürerek çok büyük alanları etkileyebilmektedir. Yavaş yavaş başlayan ve su kaynaklarının artan su talebini karşılayamaması durumu kuraklık ile sonuçlanmaktadır. Tüm bunlar ise insan faaliyetleri ile yakından ilişkilidir (Turan, 2018). Kuraklık etkilerinin en çok gözlemlendiği ve hissedildiği değişiklikler başta su kaynakları üzerinde gerçekleşmektedir. Su kaynakları üzerindeki bu değişimler, suya olan talepte artma, suyun nicelik olarak kullanılamaması, su kaynaklarına sahip olabilmek için verilen savaşlar gibi etkilere sebep olmaktadır (Doğan ve Tüzer 2011; Turan 2018). Ülkemiz de iklim değişikliğine bağlı kuraklık ve diğer potansiyel etkilerin görülmesi açısından risk taşıyan ülkeler arasında bulunmaktadır. Bu bağlamda öngörüler ülkemizin gelecekte (2050 yılında) su fakiri bir ülke olacağı yönündedir (Kadioğlu 2011). Pek çok alanda geniş bir etki alanına sahip kuraklığın süresini, boyutlarını ve alansal dağılımlarını izlemek ve değerlendirmelerini yapmak ileriki dönemlerde ortaya çıkabilecek olumsuz durumlara karşı önlem alınması bakımından önem taşımaktadır. Kuraklığın izlenmesi ve sonuçlarının değerlendirilmesi için kuraklık indeksleri gibi farklı yöntemler uygulanmaktadır. Bu yöntemlerde kullanılan başlıca parametreler başta yağış olmak üzere sıcaklık, potansiyel buharlaşma ve terlemedir. Yöntemlerin bazılarında birden fazla iklim parametresine ihtiyaç duyulurken standartlaştırılmış yağış indeksi gibi birkaç yöntemde sadece yağış verilerinin olması yeterlidir. Bu yönüyle standartlaştırılmış yağış indeksi yöntemi en sık kullanılan yöntemlerden biri olmuştur.

Bu çalışmada da bölgenin özellikle sulama ve enerji ihtiyacını karşılamak amaçlı kullanılan ve gelecekte de içme suyu kaynağı olarak kullanılması planlanan, ülkemizin önemli nehir havzalarından Antalya havzası içerisinde ve Göller Bölgesinde yer alan Karacaören-1 ve 2 Baraj Gölleri ve çevresi çalışma alanı olarak seçilmiştir. Çalışma kapsamında Karacaören-1 ve 2 Baraj Gölleri ve çevresindeki Devlet Meteoroloji istasyonlarının uzun dönem yağış verileri kullanılarak uygulanan standartlaştırılmış yağış indeksi yöntemleri ile bölgedeki meteorolojik kuraklığın süresi, boyutları ve Karacaören-1 ve 2 Baraj Gölleri seviye ve hacmi üzerindeki etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Daha önce Karacaören-1 ve 2 Baraj Gölleri ve çevresi için kuraklık analizinin yapılmamış ve kuraklığın bu önemli su kaynağı üzerindeki etkisini belirlemeye yönelik bir araştırmanın bulunmaması çalışmanın önemini arttırmaktadır.

2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Günümüz problemlerinden en önemlisi olan kuraklık konusu ulusal ve uluslararası pek çok araştırmacının da dikkatini çekmiştir. Araştırmacılar meteorolojik, hidrolojik, tarımsal ve sosyo-ekonomik kuraklık konularında farklı bölgelerde bilimsel çalışmalar yapmışlar ve böylece dünya üzerindeki farklı coğrafyalarda kuraklığın boyutlarını ortaya çıkarmaya çalışmışlardır (Wilhite ve Glantz 1985; Choi vd. 2013; Sırdaş ve Şen 2003; Kömüşçü ve Erkan 2006; Orhan 2014; Mishra ve Singh 2011; Şener ve Şener 2019; Şener ve Şener 2021).

Kuraklığın boyutlarını belirlemeye yönelik, geçmiş ve uzun dönem iklim verileri kullanılarak yapılan çalışmaların başında kuraklık indeks yöntemleri gelmektedir. Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (Mckee vd. 1993), Palmer Kuraklık İndeksi (Palmer 1965), Standart Yağış Buharlaşma İndeksi (Vicente Serrano vd. 2010), Normalin Yüzdesi İndeksi (Willeke vd. 1994), Keşif Kuraklık İndeksi (Tsakiris ve Vangelis 2005), Ondalıklar kuraklık indeksi (Gibbs ve Maher 1967), Standartlaştırılmış Akım İndeksi (Shukla ve Wood 1993), Standartlaştırılmış Yeraltısuyu İndeksi, Standartlaştırılmış Rezervuar İndeksi, China Z indeksi (Wu vd. 2001), Efektif Kuraklık İndeksi (Byun ve Wilhit 1999), Normalleştirilmiş Bitki Fark İndeksi (NDVI), Bitki Durum İndeksi (VCI) kullanılan kuraklık indekslerinden en önemlilerini oluşturmaktadır. Bu çalışmada da kuraklık indeks yöntemlerinden Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (Mckee vd. 1993) yöntemi uygulanmıştır.

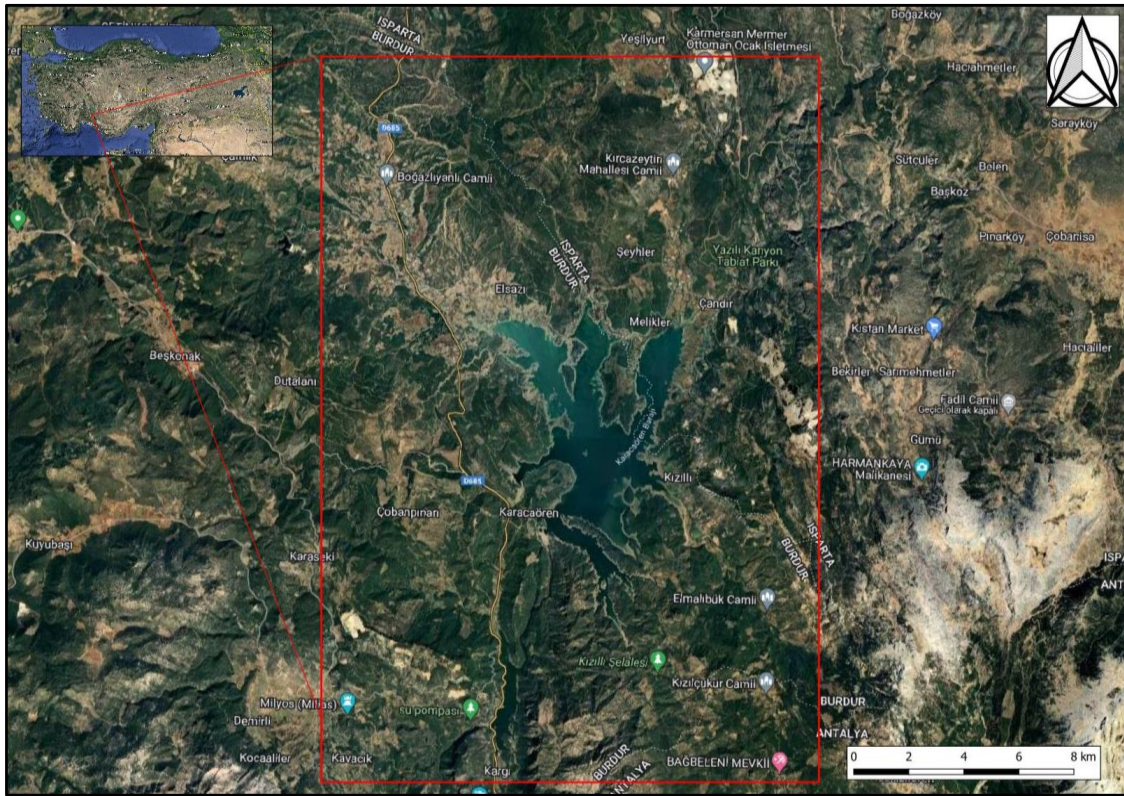
3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

3.1. İnceleme Alanı (The Study Area)

Karacaören-1 ve 2 Baraj Gölleri ve çevresini kapsayan çalışma alanı Türkiye'nin güneybatısında yer alan 25 büyük nehir havzası içerisindeki Antalya havzası içerisinde yer almaktadır. Aynı zamanda Antalya havzasının bir alt havzası niteliğindeki Aksu Nehir Havzasının da en önemli bileşenidir. Çalışma alanındaki en önemli su kaynaklarını temsil eden Karacaören Baraj Gölü üzerinde Karacaören-1 ve Karacaören-2 Hidroelektrik Güç Santralleri (HES'ler) ve baraj gölleri bulunmaktadır. Bu santraller Burdur ili Bucak ilçe sınırları içerisinde yer alırken çalışma alanı Isparta, Burdur ve Antalya il sınırları içerisine dahildir. Burdur il sınırları içerisinde 1977-1990 yılları arasında inşa edilerek yapımı tamamlanan Karacaören Barajı Aksu çayı üzerinde, sulama, taşkın kontrolü ve elektrik enerjisi üretimi amacıyla yapılan bir barajdır (Şekil 1). Baraj içerisinde geleneksel türden yapılmış Karacaören-1 HES hidroelektrik güç santrali ve onun mansabında yine nehir tipi hidroelektrik güç santrali özelliğindeki Karacaören-2 HES yer almaktadır. Karacaören-2 HE santraline ait baraj gölü Karacaören-1 HE santraline ait baraj gölünden çok daha küçük bir göl alanına sahiptir. Karacaören-1 HES Aksu nehrinin akış gücünden yararlanarak oluşturulan çalışma prensibine sahip farklı amaçlar (elektrik üretmek, taşkın koruması sağlamak ve sulama ihtiyaçlarını karşılamak) için kullanıma yönelik kapsamlı bir testistir. Karacaören-1 HES'in içerisinde olduğu Karacaören-1 Baraj Gölü'nün normal su seviyesindeki hacmi 1.234 hm³, normal su seviyesindeki alanı 45,5 km²'dir. Karacaören-2 HES, nehir tipi bir hidroelektrik güç santrali olup, Karacaören-1 Baraj Gölü'ndeki suyu bir enerji tüneli ile taşıyarak hidroelektrik güç üretir (Çeribaşı ve Yazgan Kayabalı, 2016).

İnceleme alanının oluşturan Karacaören-1 ve 2 Baraj Gölü ve çevresinde arazi kullanımının büyük bir kısmını orman arazileri ve daha az bir kısmını ise tarım arazileri oluşturmaktadır. Genel olarak bölgedeki iklim şartları kış mevsiminde soğuk ve yağışlı, yaz mevsiminde ise sıcak ve kuraktır. Bölgedeki iklim ülkemizdeki iklim sınıflamalarından Orta Anadolu, Akdeniz ve Ege arasında bir geçiş iklimi özelliğindedir. Çalışma alanında Karacaören Devlet Meteoroloji istasyonu bulunmaktadır. Karacaören Devlet Meteoroloji istasyonuna ait yağış verilerine göre 11 yıllık ortalama yağış değeri 1066.14 mm; ortalama sıcaklık değeri ise 17.65 °C'dir.

Çalışma alanı içerisindeki yerleşim alanlarında tarım ve hayvancılık önde gelen ekonomik faaliyetlerdir. Üretimi yapılan tarımsal ürünlerin başında arpa, buğday, mısır, pamuk, fıstık ve susam gelmektedir. Karacaören-2 Barajı yakınlarındaki yerleşim alanlarında ise seracılık faaliyetleri önemli geçim kaynaklarındandır. Ayrıca her iki baraj gölünde balık yetiştiriciliği ve işletmeciliği mevcuttur.



Şekil 1. Çalışma alanının yerbulduru haritası (Location map of the study area)

3.2. Yöntem (Method)

Bu çalışmada Karacaören-1 ve 2 Baraj Gölleri ve çevresindeki kuraklıkların şiddeti ve süresinin belirlenmesi, kuraklık sınıflamalarının yapılması amacıyla Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SYI) ile yöntemi kullanılmıştır. Bunun için çalışma alanı içerisindeki Meteoroloji istasyonları verilerinin gerekli ölçüm periyotlarına sahip olmaması nedeni ile çalışma alanı çevresinde yer alan en yakın istasyonlar olarak Isparta ve Antalya Devlet Meteoroloji istasyonlarına (DMİ) ait yağış verileri kullanılmıştır. Her iki istasyon için DrinC yazılım programı kullanılarak yağış verileri Gamma dağılımına göre 12 aylık SYİ değerleri hesaplanmış ve değerlendirilmiştir.

3.2.1. Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SYI) Yöntemi (Standardized Precipitation Index (SPI) Method)

SYİ, çoklu zaman ölçekleri için yağış açığını ölçmek üzere tasarlanmıştır. Bu zaman ölçekleri, kuraklığın farklı su kaynaklarının mevcudiyeti üzerindeki etkisini yansıtmaktadır. Toprak nemi koşulları, nispeten kısa bir ölçekte yağış anormalliklerine tepki vermektedir. Yeraltı suyu, nehir akışı ve rezervuar depolaması ise, daha uzun vadeli yağış anormalliklerini yansıtmaktadır. Bu nedenlerden dolayı, McKee ve diğ. (1993) SYI'yi orijinal olarak 3-, 6-, 12-, 24- ve 48 aylık zaman ölçekleri için hesaplamışlardır.

Herhangi bir konum için SYİ hesaplaması, istenen bir süre için uzun süreli yağış kaydına dayalıdır. Bu uzun vadeli kayıt, bir olasılık dağılımına uyarlanır ve bu daha sonra konum ve istenen dönem için ortalama SYİ sıfır olacak şekilde normal dağılıma dönüştürülür (Edwards ve McKee, 1997). Pozitif SYI değerleri, medyan yağıştan daha büyük, negatif değerler ise medyan yağıştan daha azını gösterir. SYI normalize edildiğinden, daha nemli ve daha kuru iklimler aynı şekilde temsil edilebilir; böylece yağışlı dönemler de SYİ kullanılarak izlenebilir.

McKee ve diğerleri (1993), SYİ'den kaynaklanan kuraklık yoğunluklarını tanımlamak için aşağıdaki SYİ değer tablosunda (Tablo 1) gösterilen sınıflandırma sistemini kullanmıştır. Ayrıca, herhangi bir zaman ölçeği için bir kuraklık olayı için kriterleri tanımlamışlardır. SYİ sürekli olarak negatif olduğunda ve -1.0 veya daha düşük bir yoğunluğa ulaştığında bir kuraklık olayı meydana gelir. SYİ pozitif olduğunda olay sona erer. Bu nedenle, her kuraklık olayının, başlangıcı ve bitişiyle tanımlanan bir süresi ve olayın devam ettiği her ay için bir yoğunluğu vardır. Bir kuraklık olayı içindeki tüm aylar için SYİ'nin pozitif toplamı, kuraklığın "büyüklüğü" olarak adlandırılabilir.

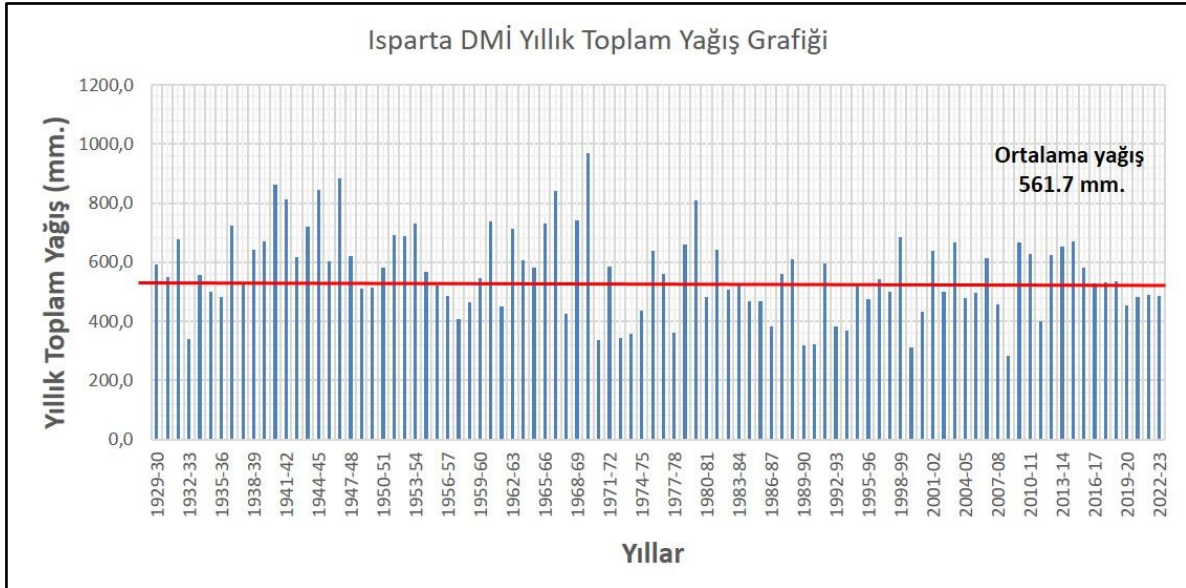
Tablo 1. SYİ'ye göre kuraklık koşullarının sınıflandırılması (Classification of drought conditions according to the SPI)

SYİ Değerleri	Kuraklık Sınıfları
≥ 2.0	Aşırı Nemli
1.5 ile 1.99	Çok Nemli
1.0 ile 1.49	Orta Derecede Nemli
-.99 ile 0.99	Normale Yakın
-1.0 ile -1.49	Orta Derecede Kurak
-1.5 ile -1.99	Şiddetli Kurak
≤ -2	Aşırı Kurak

4. Araştırma Bulguları (Experimental Results; Research Findings)

4.1. Çalışma Alanı SYİ Değerlendirmeleri (SPI Assessments of Study Area)

Çalışmada Isparta DMİ'e ait 1929-2023 yılları arasındaki 94 yıllık aylık ortalama yağış (mm) verileri kullanılmıştır. Buna göre Isparta DMİ için ortalama yıllık yağış miktarı 561.7 mm. olarak belirlenmiştir (Şekil 2).

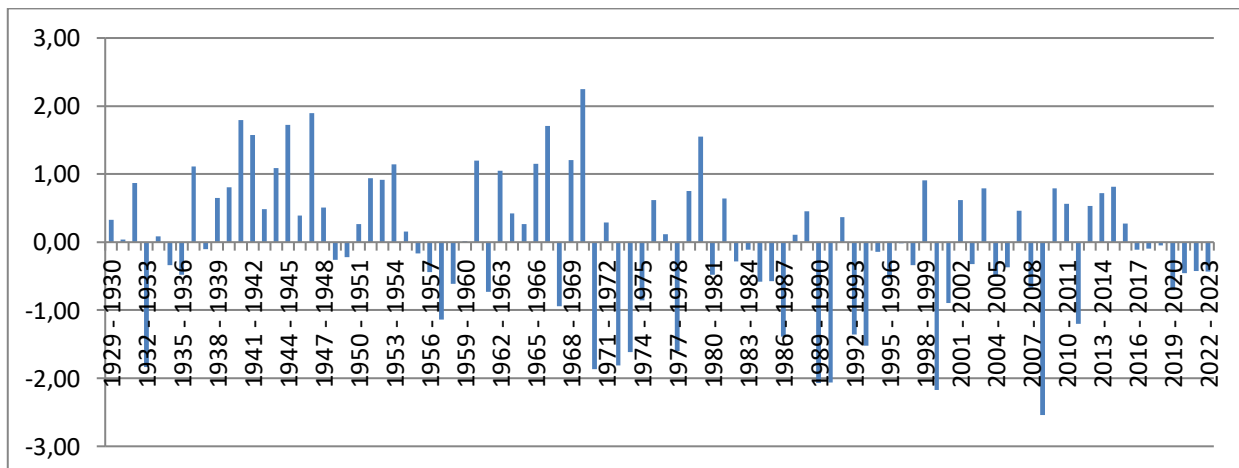


Şekil 2. Isparta DMİ’den elde edilen yağış verilerinin uzun yıllar dağılımı (mm.) (Long-term distribution of precipitation data obtained from Isparta SMS (mm.))

Isparta DMİ verilerine göre SYİ yöntemi ile elde edilen değerler Tablo 3 ve bu değerler ile oluşturulan grafik Şekil 3’de verilmiştir. Tablo 3 ve Şekil 3 incelendiğinde bölgede 94 yıl içerisinde sadece 1 yıl (1969) Aşırı Nemli olarak geçmiştir. Yine 94 yılın %6.38 (6 yıl) ı “Çok Nemli”, %7.45 (7 yıl) ı “Orta Derecede Nemli”, %4.26 (4 yıl) ı “Orta Derecede Kurak”, yine %6.38 (6 yıl) ı “Şiddetli Kurak” ve %4.26 (4 yıl) ı da “Aşırı Kurak” olarak geçmiştir. Isparta DMİ verilerine göre bölgede 94 yılın %70.21 inde yani 66 yıllık dönemde “Normale Yakın” kuraklıklar yaşandığı görülmektedir. SYİ sınıflamalarına göre özellikle 1940-1941 yıllarında arka arkaya, 1944 ve 1946 yıllarında ise bir yıl ara ile “Çok Nemli” bir dönem yaşanmış, 1970-1973 yılları arasında üst üste “Şiddetli Kuraklıklar” ve 1989 ve 1990 yıllarında “Aşırı Kuraklık” dönemi ortaya çıkmıştır (Tablo 2.).

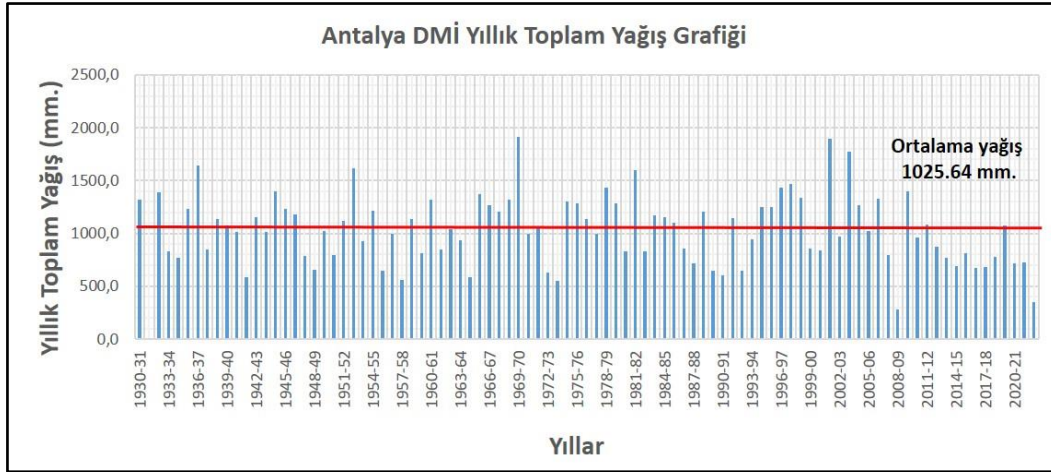
Tablo 2. Isparta DMİ için 12 aylık SYİ Değerleri ve Sınıfları (12-month SPI values and vlasses for Isparta SMS)

SYİ Değerleri	Kuraklık Sınıfları	Isparta DMİ	12 Aylık zaman ölçeği (%)
≥ 2.0	Aşırı Nemli	1969	1.06
1.5 ile 1.99	Çok Nemli	1940,1941,1944,1946,1966,1979	6.38
1.0 ile 1.49	Orta Derecede Nemli	1936,1943,1953,1960,1962,1965,1968,	7.45
-0.99 ile 0.99	Normale Yakın	1929-1931,1933-1935,1937-1939,1942,1945,1947-1952,1954-1956,1958,1959,1961,1963,1964,1967,1971,1974-1976,1978,1980-1985,1987,1988,1991,1994-1998,2000-2007,2009,2010,2012-2022	70.21
-1.0 ile -1.49	Orta Derecede Kurak	1957,1986,1992,2011	4.26
-1.5 ile -1.99	Şiddetli Kurak	1932,1970,1972,1973,1977,1993	6.38
≤ -2	Aşırı Kurak	1989,1990,1999,2008	4.26



Şekil 3. Isparta DMİ için 12 aylık SYİ grafiği (12-month SPI graph for Isparta SMS)

Antalya DM istasyonuna ait kuraklık analizlerinin yapılabilmesi için ise 1930-2023 yılları arasındaki 93 yıllık aylık ortalama yağış (mm) verileri kullanılmıştır. Buna göre Antalya DM için ortalama yıllık yağış miktarı 1025.64 mm. Olarak belirlenmiştir (Şekil 4).

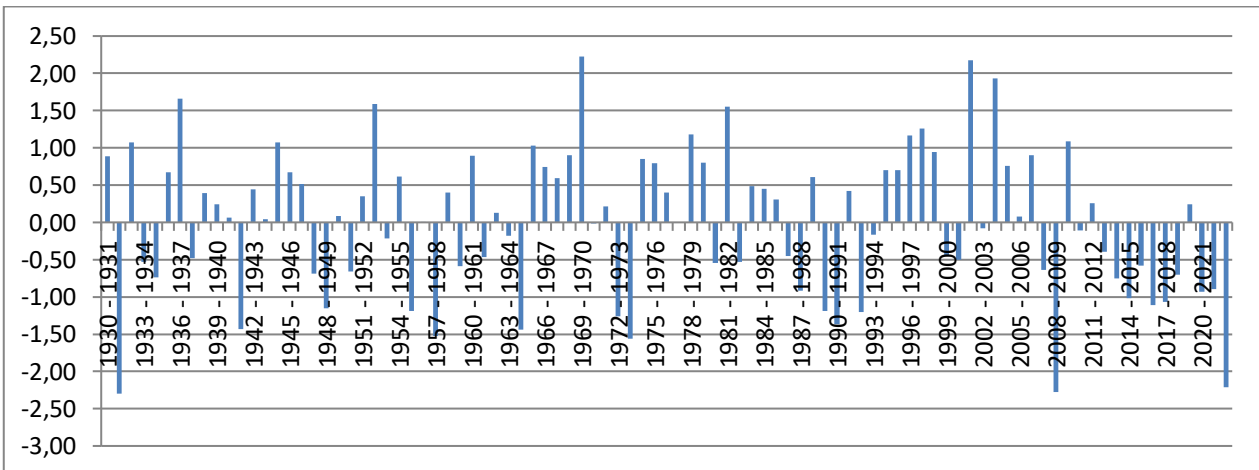


Şekil 4. Antalya DMİ'den elde edilen yağış verilerinin uzun yıllar dağılımı (mm.) (Long-term distribution of precipitation data obtained from Antalya SMS (mm.))

Antalya DMİ'den elde edilen yağış verileri ile hesaplanan SYİ değerleri ve kuraklık sınıfları ise Tablo 4'de ve bu değerlerle oluşturulan SYİ grafiği ise Şekil 5 de verilmiştir. Bu veriler incelendiğinde 93 yılın %2.15'i yani 2 yılı "Aşırı Nemli" geçmiştir. %4.30 (4 yıl) ı "Çok Nemli", %7.53 (7 yıl) ı "Orta Derecede Nemli", %11.83 (11 yıl) ı "Orta Derecede Kurak", yine %2.15 (2 yıl) ı "Şiddetli Kurak" ve %3.22 (3 yıl) ı da "Aşırı Kurak" olarak geçmiştir. Antalya DMİ verilerine göre bölgede 93 yılın %68.82 inde yani 64 yıllık bir dönemde "Normale Yakın" kuraklıklar yaşanmıştır. Bölgede özellikle 1989 ve 1992 yılları ile 2014 ve 2107 yılları arasında arka arkaya "Orta Derecede Kuraklığın" yaşandığı, 1996 ve 1997 yıllarında ise arka arkaya iki yıl boyunca "Orta Derecede Nemli" bir dönemin yaşandığı görülmektedir.

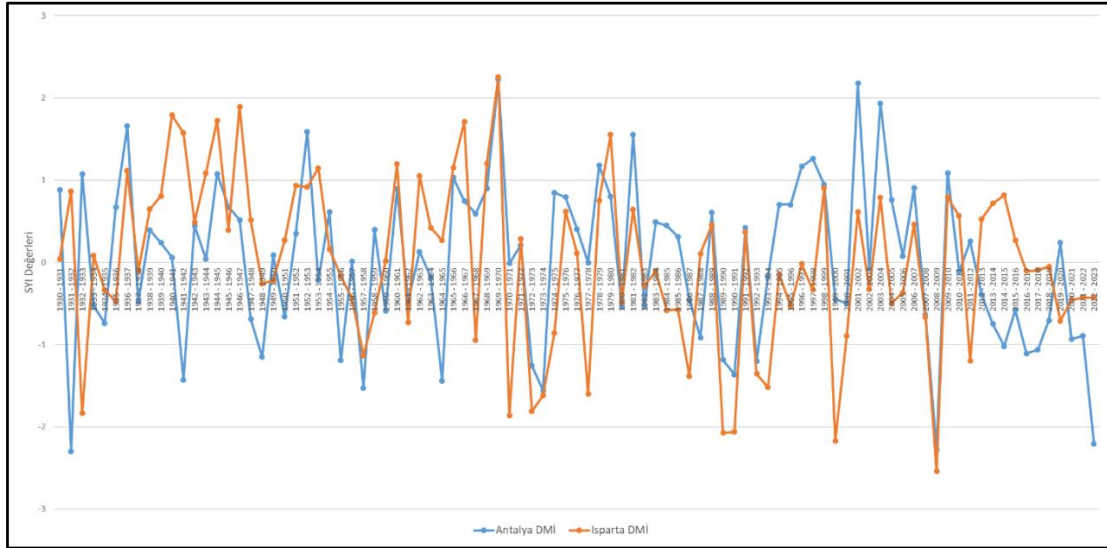
Tablo 4. Antalya DMİ için 12 aylık SYİ Değerleri ve Sınıfları (12-month SPI values and classes for Antalya SMS)

SYİ Değerleri	Kuraklık Sınıfları	Antalya DMİ	12 Aylık zaman ölçeği (%)
≥ 2.0	Aşırı Nemli	1969,2001	2.15
1.5 ile 1.99	Çok Nemli	1936,1952,1981,2003	4.30
1.0 ile 1.49	Orta Derecede Nemli	1932,1944,1965,1978,1996,1997,2009	7.53
-0.99 ile 0.99	Normale Yakın	1930,1933-1935,1937-1940,1942,1943,1945-1947,1949-1951,1953,1954,1956,1958-1963,1966-1968,1970,1971,1974-1977,1979,1980,1982-1988,1991,1993-1995,1998-2000,2002,2004-2007,2010-2013,2015,2018-2021	68.82
-1.0 ile -1.49	Orta Derecede Kurak	1941,1948,1955,1964,1972,1989,1990,1992,2014,2016,2017	11.83
-1.5 ile -1.99	Şiddetli Kurak	1957,1973	2.15
≤ -2	Aşırı Kurak	1931,2008,2022	3.23



Şekil 5. Antalya DMİ için 12 aylık SYİ grafiği (12-month SPI graph for Antalya SMS)

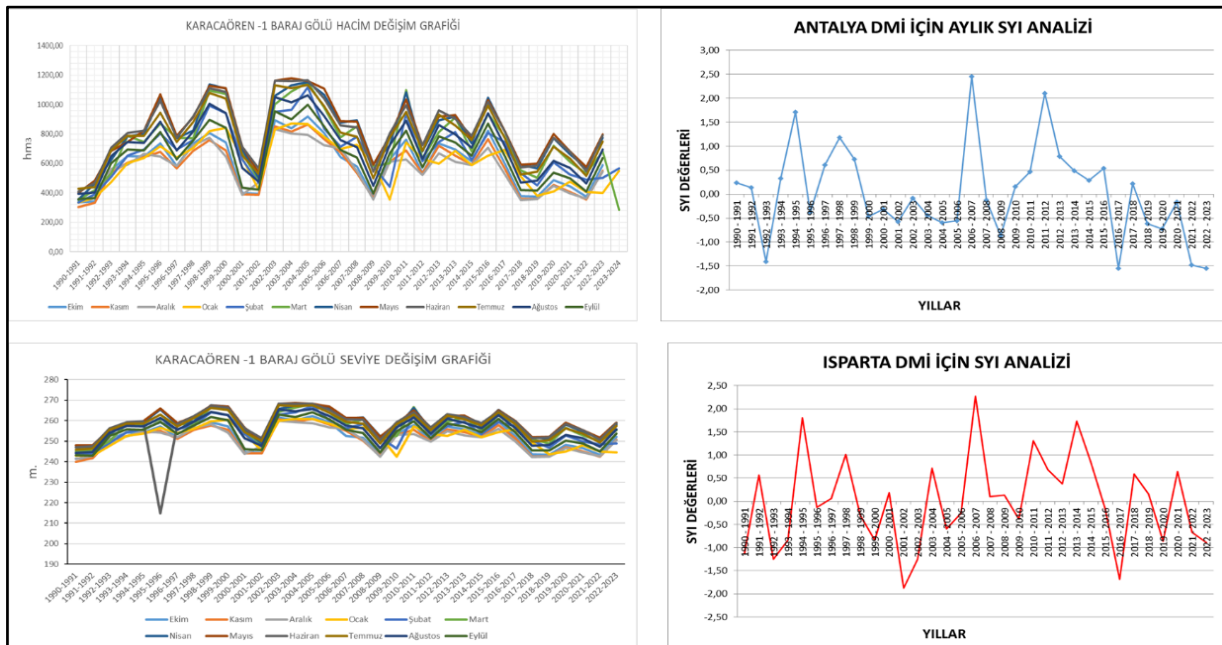
Çalışma alanı için seçilen DM istasyonları buldukları coğrafi koşullar ve yükseklikler bakımından farklılık göstermektedir. Isparta DMİ ye ait veriler daha yüksek kotlardaki yağışları ve iklimsel olarak daha çok karasal iklimi temsil ederken Antalya DMİ ise kot olarak deniz seviyesi ve ılıman Akdeniz iklimini temsil etmektedir. Her iki meteoroloji istasyonunun temsil ettiği bölgelerdeki kuraklık durumu birlikte değerlendirildiğinde her iki istasyon için de kuraklığın farklı şiddetlerde benzer dönemlerde etkisini gösterdiği görülmektedir (Şekil 6)



Şekil 6. Antalya DMİ ve Isparta DMİ için 12 aylık SYİ değişim grafiği (12-month SPI change graph for Antalya SMS and Isparta SMS)

4.2. Kuraklığın Karacaören 1 ve 2 Baraj Gölleri Üzerine Etkisi (Effect of Drought on Karacaören 1 and 2 Dam Lakes)

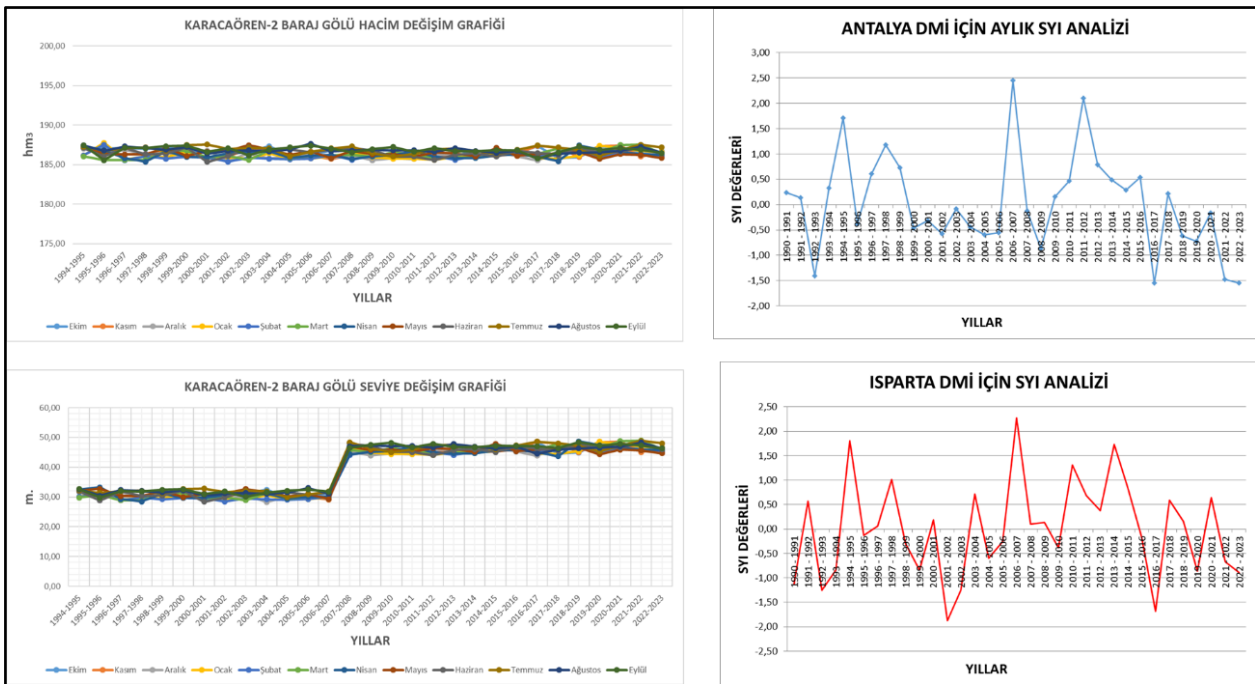
Çalışmada ayrıca iklim değişikliklerine bağlı olarak ortaya çıkan kuraklığın Karacaören 1 ve 2 Baraj Gölleri üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla barajların faaliyete geçtiği yıldan günümüze kadar olan seviye ve hacim değerleri incelenmiştir (Şekil 7). Isparta-Burdur ve Antalya il sınırları içerisinde yer alan Karacaören Baraj Göllerinden Karacaören-1 Baraj Gölü'nün denizden yüksekliği 280 m ve göl alanı 45,5 km²'dir. Baraj 1990 yılında faaliyete geçmiş ve bu dönemde seviye ve hacim değerleri ölçülmeye başlanmıştır. Karacaören-1 Baraj Gölü, 1995 yılı Haziran ayında 214,76m. ile en düşük seviyeye inmıştır. Bugüne kadar baraj gölü seviyesinin en yüksek olduğu dönem 268,63m. ile 2003 yılı Mayıs ayıdır. Yine 1990 yılının Kasım ayında 304,958 hm³ ile en düşük hacme sahipken 1178,77 hm³ 2003 yılı Mayıs ayında en yüksek hacme sahip olmuştur (Şekil 7).



Şekil 7. Karacaören-1 Baraj Gölü Hacim, seviye ve SYİ değişim grafikleri (Karacaören-1 Dam Lake volume, level and SPI change graphs)

Karacaören Baraj Gölleri, beslenimini yağışların yanı sıra yüzeysel akış olarak Isparta çayı, Aksu çayı, Değirmen dere, Eğirdir ve Kovada Gölü ile kısmen de yeraltı suyu boşalmalarından sağlamaktadır. Buna bağlı olarak Karacaören-1 Baraj gölü seviye, hacim ve kuraklık analiz sonuçları birlikte değerlendirildiğinde Isparta ve Antalya DM istasyonları verilerinden hazırlanan kuraklık analizleri ile Karacaören-1 Baraj Gölü seviye ve hacim değişikliklerinde uyumluluk olduğu gözlenmiştir. Özellikle her iki istasyonda tespit edilen 1995, 2000-2003 yılları arası ile 2016-2022 yılları arasında gözlemlenen kuraklıklarda Karacaören-1 Baraj Gölü seviye ve hacimlerinde de düşüşler olduğu görülmektedir (Şekil 7).

Çalışma alanında yer alan Karacaören-2 Baraj Gölü'nün ise denizden yüksekliği 347 m ve göl alanı 2.34 km²'dir. Baraj 1994 yılında faaliyet geçmiş ve izlenmeye başlamıştır. Karacaören-2 Baraj Gölü, faaliyete başladığı 1994 yılında 29,83-32,65m. seviye aralığında iken 2003 yılı Aralık ayında 28,29m. olan en düşük seviyeye inmiştir. Bugüne kadar baraj gölü seviyesinin en yüksek olduğu dönem 48,88m. İle 2021 yılı Temmuz ayıdır. Yine 1994 yılında 186,11 ila 187,44 hm³ aralığında hacme sahipken 2000 yılı Haziran ayında 185,33 hm³ ile en düşük hacme, 2005 yılın Ağustos ayında ise 187,61 hm³ ile en yüksek hacme sahip olmuştur (Şekil 8). Karacaören-2 Baraj gölü seviye, hacim ve kuraklık analiz sonuçları birlikte değerlendirildiğinde Isparta ve Antalya DM istasyonları verilerinden hazırlanan kuraklık analizleri ile Karacaören-2 Baraj Gölü seviye ve hacim değişikliklerinde uyumluluk olduğu gözlenmiştir. Özellikle her iki istasyonda tespit edilen 2006-2007 yıllarındaki yoğun yağışlara bağlı olarak baraj gölü seviyesinde dikkat çeken bir artış söz konusudur (Şekil 8).



Şekil 8. Karacaören-2 Baraj Gölü Hacim, seviye ve SYİ değişim grafikleri (Karacaören-2 Dam Lake volume, level and SPI change graphs)

5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Bu çalışmada küresel boyutta etkisi altında olduğumuz kuraklığın, çalışma alanı olarak seçilen özellikle Antalya havzası için önemli su kaynaklarından birisi olan Karacaören-1 ve 2 Baraj Gölleri ve çevresindeki boyutları ele alınmıştır. Bu kapsamda çalışma alanı için seçilen Isparta ve Antalya DM istasyonları tarafından ölçülen uzun yıllara ait aylık yağış verileri kullanılmıştır. Bu veriler kullanılarak bölgedeki kuraklığın süresi ve boyutu Standartlaştırılmış Yağış İndeksi yöntemi (SYİ) ile belirlenmiştir. Burada Isparta DMİ verilerine göre 1957, 1986, 1992 ve 2011 yılları "Orta Derecede Kurak" dönem, 1932, 1970, 1972-1973, 1977, 1993 yılları "Şiddetli Kurak" dönem ve 1989-1990, 1999, 2008 yılları "Aşırı Kurak" dönem olarak belirlenmiştir. Antalya DMİ verilerine göre ise 1941, 1948, 1955, 1964, 1972, 1989-1990, 1992, 2014, 2016-2017 yılları "Orta Derecede Kurak" dönem, 1957 ve 1973 yılları "Şiddetli Kurak" dönem ve 1931, 2008 ve 2022 yılları ise "Aşırı Kurak" dönem olarak belirlenmiştir. Her iki meteoroloji istasyonunun temsil ettiği bölgelerdeki kuraklık durumu birlikte değerlendirildiğinde her iki istasyon için de kuraklığın farklı şiddetlerde benzer dönemlerde etkisini gösterdiği görülmüştür.

Çalışmada ayrıca bölgedeki kuraklığın Karacaören-1 ve 2 Baraj Göllerinin seviye ve hacimleri üzerindeki etkisi de belirlenmeye çalışılmıştır. Buna göre Karacaören-1 Baraj gölü seviye, hacim ve kuraklık analiz sonuçları

birlikte değerlendirildiğinde Isparta ve Antalya DM istasyonları verilerinden hazırlanan kuraklık analizleri ile Karacaören-1 Baraj Gölü seviye ve hacim değişikliklerinde uyumluluk olduğu gözlenmiştir. Özellikle her iki DM istasyonunda tespit edilen 1995, 2000-2003 yılları arası ile 2016-2022 yılları arasında gözlemlenen kuraklıklarda Karacaören-1 Baraj Gölü seviye ve hacimlerinde de düşüşler olduğu, Karacaören-2 Baraj Gölünde ise 2006-2007 yıllarındaki yoğun yağışlara bağlı olarak baraj göl seviyesinde dikkat çeken bir artış belirlenmiştir.

Sonuç olarak küresel iklim değişikliğine bağlı kuraklık sorunu dünyanın her bölgesinde farklı süre ve boyutlarda kendini göstermektedir. Bunun bir göstergesi olarak ortaya çıkarılan bu çalışmada da çalışma alanı olarak seçilen, ülkemizin önemli nehir havzalarından Antalya havzası içerisinde ve Göller Bölgesinde yer alan ve bölgenin önemli su kaynaklarından birisi olan Karacaören -1 ve 2 Baraj Göllerinin seviye ve hacim değişikliklerinde meteorolojik kuraklığın etkili olduğu görülmektedir. Bu nedenle artan su ihtiyacı, buna karşılık temiz ve kullanılabilir suya ulaşmanın giderek zorlaştığı günümüzde kuraklığın boyutu, süresi ve alansal dağılımlarının belirlenmesi çalışmaları önem taşımaktadır. Farklı iklim verileri ve mikro bölgeleme çalışmaları ile detaylı kuraklık analizlerinin yapılması su kaynaklarının korunması açısından tavsiye edilmektedir.

Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışma Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından FDK-2022-8702 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)

- Byun H.R., Wilhite D.A., (1999), Objective quantification of drought severity and duration, *Journal of Climate*, 12(9), 2747-2756.
- Choi M., Jacobs J.M., Anderson M.C., Bosch D.D., (2013), Evaluation of drought indices via remotely sensed data with hydrological variables. *Journal of Hydrology*, 476, 265-273
- Çeribaşı H. ve Yazgan Kayabalı B., 2016. Karacören-1 Ve 2 Hes Projeleri Teknik Olmayan Özet (Çevre Ve Sosyal Durum Tespiti), GAMA ENERJİ A.Ş., ENCON Çevre Danışmanlığı A.Ş. Ankara, Mart 2016
- Doğan S., Tüzer M., 2011. Küresel iklim değişikliği ve potansiyel etkileri, C.Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 12(1), 21-34.
- Edwards, D. C. and T. B. McKee, 1997: Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales. *Climatology Report 97-2*, Department of Atmospheric Science, Colorado State University, Fort Collins, Colorado.
- Gibbs W.J. and Maher J.V. (1967) Rainfall deciles as drought indicators. *Bureau of meteorology bulletin no. 48*. Commonwealth of Australia, Melbourne
- Gibbs W.J., Maher, J.V., (1967), Rainfall Deciles as Drought Indicators, *Bureau of Meteorology Bulletin*, 48, Melbourne, Australia.
- Kadioğlu, M. (2011). Afet Yönetimi Beklenilmeyeni Beklemek En Kötüsü Yönetmek, Marmara Belediyeler Birliği, İstanbul.
- Kininmonth W.R., Voice M.E., Beard G.S., de Hoedt G.C. and Mullen C.E (2000) Australian climate services for drought management. In D.A. Wilhite (ed.) *Drought, a global assessment*, Routledge, pp. 210-222
- Kömüşçü A., Erkan A., (2006), Kuraklık ve Türkiye Açısından Genel Bir Değerlendirme, DMİ Genel Müdürlüğü Araştırma ve Bilgi İşlem Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- McKee T.B., Doesken N.J., Kleist J., (1993), The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales, 8th Conference on Applied Climatology, 17-22 January, Anaheim, California, ss.179-183.
- McKee, T.B., N.J. Doesken and J. Kleist, 1993: The relationship of drought frequency and duration to time scale. In: *Proceedings of the Eighth Conference on Applied Climatology*, Anaheim, California, 17-22 January 1993. Boston, American Meteorological Society, 179-184.
- Mishra A.K., Singh V.P., (2011), Drought modeling - a review, *Journal of Hydrology*, 403, 157-175
- Orhan O., (2014), Konya Kapalı Havzası'nda Uzaktan Algılama ve CBS Teknolojileri İle İklim Değişikliği ve Kuraklık Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray.
- Palmer W.C., (1965), *Meteorological Drought*, U.S. Department of Commerce, Weather Bureau, Research Paper No: 45, Washington, DC., USA, 58ss.
- Partigöç, N.S., & Soğancı, S., 2019. Küresel iklim değişikliğinin kaçınılmaz sonucu: Kuraklık. *Resilience*, 3(2), 287-299.
- Shukla S., Wood A., (2008), Use of a Standardized Runoff Index For Characterizing Hydrologic, *Geophysical Research Letters*, 35(2), L02405, doi:10.1029/2007GL032487.
- Sırdaş S., Şen Z., (2003), GAP Bölgesinde kurak dönem özelliklerinin araştırılması, III. Atmosfer Bilimleri Sempozyumu, 19-21 Mart, İstanbul, Türkiye, ss.305-317.
- Şener E., Şener Ş., (2019), Meteorolojik kuraklığın coğrafi bilgi sistemleri tabanlı zamansal ve konumsal analizi: Çorak Gölü Havzası (Burdur-Türkiye) örneği, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 7(3), 596-607
- Şener, E., Şener, Ş. (2021). SPI ve CZI kuraklık indislerinin CBS tabanlı zamansal ve konumsal karşılaştırması: Burdur Gölü Havzası örneği. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 7(1), 41-58.

- Tsakiris G., Vangelis H.J.E.W., (2005), Establishing a drought index incorporating evapotranspiration, *European water*, 9(10), 3-11.
- Turan, E.S., 2018. Türkiye'nin iklim değişikliğine bağlı kuraklık durumu., *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 2018; 4(1), 63-69, DOI: 10.213247/dacd.357384
- Vicente-Serrano S.M., Beguería S., López-Moreno J.I., (2010), A multiscalar drought index sensitive to global warming: The standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of Climate*, 23, 1696-1718.
- Wilhite D.A., Svoboda M.D., (2000), Drought early warning systems in the context of drought preparedness and mitigation, *Early warning systems for drought preparedness and drought management'in İçinde*, (Wilhite D.A, Sivakumar M.V.K., Wood D.A., Eds.), Lisbon, Portugal, ss.1-21.
- Willeke G., Hosking J.R.M., Wallis J.R., Guttman N.B., (1994), *The National Drought Atlas*, U.S. Army Corps of Engineers Institute for Water Resources Report 94-NDS-4, 587ss.
- Wu H., Hayes M.J., Welss A., Hu Q., (2001), An evaluation the standardized precipitation index, the China-z index and the statistical Z-Score, *International Journal of Climatology*, 21, 745-758.
- Yüceerim, G., Yılmaz, G., Merve, E.T.Ö.Z., Acar, C.O., 2019. Kocadere Havzasında Standartlaştırılmış Yağış İndeksi İle Farklı Zaman Ölçeğinde Kuraklık Analizi. *Toprak Su Dergisi*, 70-76.



TÜRKİYE EGİRDİR GÖLÜ'NDEKİ ELEMENT, PESTİSİT VE İYON KİRLİTİCİLERİNİN TAYİNİ VE METOT VALİDASYONU

Murat KILIÇ¹, Serpil KILIÇ^{2*}, Muhammet Yunus PAMUKOĞLU³, Bülent KIRKAN⁴, Taner ERKAYMAZ⁵

¹ Isparta Uygulama Bilimler Üniversitesi, Merkez Araştırma Laboratuvarı Uygulama ve Araştırma Merkezi, Isparta, Türkiye

² Isparta Uygulama Bilimler Üniversitesi, Teknik Meslek Yüksekokulu, Kimya ve Kimyasal İşleme Teknolojileri Bölümü, Isparta, Türkiye

³ Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

⁴ Afyonkarahisar Sağlık Bilimleri Üniversitesi Eczacılık Fakültesi, Afyonkarahisar, Türkiye

⁵ Süleyman Demirel Üniversitesi, Doğal Ürünler Araştırma ve Uygulama Merkezi, Isparta, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Eğirdir Gölü,
Ağır metaller,
İyonlar,
Pestisitler,
Metot validasyonu.

Öz

Bu çalışmada Isparta/Eğirdir Gölü'nden alınan örneklerinde belirlenen element, iyon ve pestisit konsantrasyonları belirlenmiştir. İlk olarak, numunelerdeki klorpirifos, asetamiprid, methidathion, cyprodinil ve pyridaben pestisit kalıntıları (toplam 322 pestisit), iyonlar (toplam 12 anyon/kasyon) ve elementlerin (toplam 17 element) tayini için analitik bir yöntem valide edilmiştir. Doğrusallık, tespit ve niceleme sınırı, seçicilik, geri kazanım (%) gibi çalışmanın validasyon parametreleri belirlendi. Metal miktarları, induktif olarak eşleştirilmiş plazma kütle spektrometrisi (ICP-MS) ile tayin edildi. Arsenik, baryum, krom, bakır, demir, mangan, nikel, kurşun, stronsiyum, vanadyum ve çinko farklı konsantrasyonlarda belirlenmiş, ancak gümüş, berilyum, kadmiyum, kobalt, talyum ve antimon miktarları belirlenmemiştir. İyon konsantrasyonları, iyon kromatografisi (IC) ile tayin edildi. Bu deneylerin sonuçlarına göre lityum, nitrat ve fosfat iyonlarının miktarları numunelerde tespit sınırının altındaydı. Aynı numunelerdeki pestisitlerin tayini, sıvı kromatografi-tandem kütle spektrometrisi'nde (LC-MS/MS) gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar tartışıldı.

ELEMENT, PESTICIDE AND ION POLLUTANTS DETERMINATION AND METHOD VALIDATION IN EGİRDİR LAKE/TURKEY

Keywords

Egirdir Lake,
Heavy metals,
Ions,
Pesticides,
Method validation.

Abstract

In this study, the concentrations of elements, ions and pesticides were determined in the samples collected from the Isparta/Egirdir Lake. Firstly, it was validated an analytical method for determination of chlorpyrifos, acetamiprid, methidathion, cyprodinil and pyridaben pesticide residues (total 322 pesticides), ions (total 12 anions/cations) and elements (total 17 elements) in samples. The validation parameters such as linearity, the limit of detection and quantification, selectivity, recovery (%) of the method were determined. The amounts of metal were determined by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). Arsenic, barium, chromium, copper, iron, manganese, nickel, lead, strontium, vanadium and zinc were determined in different concentrations, but silver, beryllium, cadmium, cobalt, thallium and antimony amounts were not determined. The concentrations of ions were assigned by the ion chromatography (IC). According to the results of these experiments the quantities of lithium, nitrate and phosphate ions were below the limit of detections in samples. Determination of the pesticides in the same samples was performed on the liquid chromatography-tandem mass spectrometry (LC-MS/MS). The obtained results were discussed.

Alıntı / Cite

Kılıç, M., Kılıç, S., Pamukoğlu M.Y., Kirkan, B., Erkaymaz, T. (2023). Element, Pesticide and Ion Pollutants Determination and Method Validation in Egirdir Lake/Turkey, Journal of Engineering Sciences and Design,11(3), 1154-1166.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

M. Kılıç, 0000-0003-1174-0197
S. Kılıç, 0000-0002-4940-1839
M.Y. Pamukoğlu, 0000-0003-3337-0860
B. Kirkan, 0000-0003-3462-0681
T. Erkaymaz, 0000-0002-1939-3153

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	07.10.2022
Revizyon Tarihi / Revision Date	23.07.2023
Kabul Tarihi / Accepted Date	28.07.2023
Yayın Tarihi / Published Date	28.09.2023

* İlgili yazar/ Corresponding author: serpil.a.kilic@gmail.com, +90 0246 214 6916

ELEMENT, PESTICIDE AND ION POLLUTANTS DETERMINATION AND METHOD VALIDATION IN EGİRDİR LAKE/TURKEY

Murat KILIÇ¹, Serpil KILIÇ², Muhammet Yunus PAMUKOĞLU³, Bülent KIRKAN⁴, Taner ERKAYMAZ⁵

¹ Isparta University of Applied Sciences, Central Research Laboratory Application and Research Center, Isparta, Turkey

² Isparta University of Applied Sciences, Vocational High School of Technical Sciences, Department of Chemistry and Chemical Processing Technologies, Isparta, Turkey

³ Suleyman Demirel University, Faculty of Engineering, Department of Environmental Engineering, Isparta, Turkey

⁴ Afyonkarahisar Health Sciences University, Faculty of Pharmacy, Afyonkarahisar, Turkey

⁵ Suleyman Demirel University, Natural Products Research and Application Center, Isparta, Turkey

Highlights

- With the use of an efficient sample preparation technique, it is possible to identify elements, ions, and pesticides that are present surface water in low amounts.
- Elements results can be determined by method validation studies using ICP-MS.
- Ion amounts can be determined by method validation studies using IC.
- Pesticites can be determined by method validation studies using LC-MS/MS.

Graphical Abstract



Figure. Pollution Sources

Purpose and Scope

In this study was aimed on the pretreatment methods used for the preparation of measurement samples of lake water containing the amounts of macro elements, pesticides and anion/cations for detection using ICP-MS, LC-MS/MS and IC instrumentations.

Design/methodology/approach

The possibility of traffic and human-induced pollution in Lake Eğirdir has been investigated. Element, ion and pesticide amounts in the water and sediment samples taken from the lake were determined by the validated analytical method.

Findings

In this study, an analytical method was validated to determine the pesticide residues, ions and elements of in the samples of Eğirdir Lake. The linearity, limits of detection and quantification, recovery, trueness and precision were calculated.

Practical implications

The results obtained from this study show the analytical procedure will administer the validation parameters which need to be valued.

Social Implications

This study will highlight the importance of analytical methods.

Originality

With monitoring studies, heavy metals, ions and pesticides in water resources are the first step in determining how the pollution will be managed before it reaches the source to reveal the pollution and how to control this pollution.

1. Introduction

The need to prevent pollution of water resources comes to the fore more depending on the increasing water demand and the importance of water (Hussain et al., 2019). While the amount of heavy metals contained in surface waters was measured in previous years, compounds such as pesticides and other chemicals are being measured in today studies (Kümmerer et al., 2019; Li et al. 2019). As the lakes are more stable than rivers, pollution accumulation in the lake sediments is constantly increasing in studies (Pastorino et al., 2020). Especially the water management implemented by developed countries such as the European Union Water Framework Directive and Environmental Protection Agency has revealed a much more comprehensive application (Akinsete et al., 2019; Carvalho et al., 2019; Laskowski, 2019; Moustaka-Gouni et al., 2019). In this process, the steps of protecting, using and managing both surface and groundwater resources are examined and implemented in detail (Merga et al., 2020; Ondoo et al., 2019; Rowden et al., 2019; Şehnaz et al., 2019; Zhang et al. 2019). One of the most important steps of this water management is the continuous monitoring of the water content of the Target Lake or river (Ccanccapa-Cartagena et al., 2019; Dickens et al., 2019). One of these monitoring is chemical monitoring, and chemical parameters such as heavy metals, pesticides, and another pollution are measured at certain times (Altenburger et al., 2019; Christophoridis et al., 2020; Pastorino et al., 2020).

Contamination can become through atmospheric, geological, the discharge of agricultural, domestic, and industrial wastes in the environmental (Chowdhury et al., 2016; Sheikh et al., 2014; Sibal and Espino, 2018; Zhou et al., 2020). With atmospheric transport, rainwater can carry pollution. There may be pollution by local and remote transports (Berberler et al., 2022). An effective sample preparation step is required for compounds in water samples (Faraji et al., 2019; Hashemi et al., 2018). Therefore, analyzes of water require large sample volumes, which avoids selective removal of targets. As a result, chromatographic quantification may be inaccurate due to repression or amplification of the analyte signal in the chromatogram (Andrade-Eiroa et al., 2016; Faraji et al., 2019; Madikizela et al., 2019; Perin et al., 2021). In order to reach reliable results, validation studies have been carried out for all pre-preparation processes and method parameters. This issue is actually of great importance. Contamination in such matrices as sea, lake and rainwater is a frequently encountered situation especially in element determinations. All parameters should be supported by method validation studies to avoid such a situation in the study (Aceña et al., 2015; Bade et al., 2016).

To determine the risk that medications and pesticides represent to the environment and to human health, data collection and reporting on their presence are essential (Perin et al., 2021). According to several studies of the literature, the existence of micro pollutants as well as organic and chemical substances is quite concerning for the ecosystem. Personal care products, medications, illegal substances, microplastics, and pesticides have all been extensively studied (Fang et al., 2017; Lin et al., 2018; Niemeyer et al., 2017; Nurmi and Pellinen, 2011; Wöhler et al., 2020; Zhang et al., 2016). Since pharmaceuticals have been commonly found in surface water in amounts ranging from ng L⁻¹ to g L⁻¹ globally (Balakrishna et al., 2017; Bu et al., 2013; Sui et al., 2015), it is well acknowledged that urban effluents are contaminating the aquatic environment. Due to their potential toxicity and accumulation, elements (metals) at the trace-level analysis pose a problem in aquatic habitats (Kumar et al., 2019; Wallace and Buha Djordjevic, 2020).

Various heavy metals are reported to be mixed into the soil through sewage, irrigation, fertilizer application, and waste disposal as a result of increased industrial and urbanization activities (Guan et al. 2017). According to Yang et al. (2018), agricultural pollution is the main anthropogenic source of heavy metals in the soil. Cao et al. (2015) claim that contamination can pose serious dangers to human health due to its ability to bioaccumulate in animals and enrich the soil through the soil plant system.

This study aims on the pretreatment methods used for the preparation of measurement samples of lake water containing the amounts of macro elements, pesticides and anion/cations for detection using ICP-MS, LC-MS/MS and IC instrumentations. For this purpose, it has been determination of chlorpyrifos, acetamiprid, methyladon, cyprodinil and pyridaben pesticide residues, ions and elements with validated analytical method in the Egirdir Lake samples. The analytical procedure objective should be clearly understood because this will administer the validation parameters which need to be valued. It is hoped that the findings obtained from the method validation studies obtained from this study will make various contributions to other literatures.

2. Material and Method

2.1. Chemicals and Equipments

Calibration standard (10 mg L⁻¹) of elements was purchased from Perkin Elmer (USA), the SPS-SW2 Surface Water reference material from LGC (Norway), respectively. Suprapur® 65% HNO₃ was supplied from Merck (Germany), filter paper (0.45 µm) from Sartorius (Germany). Sample collection bottles were obtained from Isolab (Turkey). Deionized water (Millipore® system, Bedford, USA) used to treated to remove all ions. Analytical standards were prepared from Dionex Seven Anion, Six Cation-I Cation standard (USA). As eluent, 35mM MSA (methanesulfonic acid, Sigma-Aldrich) and KOH (Sigma-Aldrich) were used for ion analysis. The pesticide standards were supplied

by the purity approved from Dr. Ehrenstorfer (Germany). Mobil Phase A (1 mL formic acid + 4 mM ammonium formate in % 95-5 water-methanol) and Mobil Phase B (1 mL formic acid +4 mM ammonium formate in % 5-95 water-methanol) was used. Methanol (Merck), ammonium formate (Sigma-Aldrich), and formic acid (Sigma-Aldrich) were the organic solvents used in the study. Acetonitrile (Merck, HPLC grade), toluen (Merck, HPLC reagent grade), acetone (Merck, HPLC reagent grade), glacial acetic acid (Merck, HPLC reagent grade), MgSO₄ (Sigma-Aldrich, anhydrous, reagent grade >%97) were some solvents used throughout the research.

2.2. Study Area

The location of the sampling points of study area is in Egirdir Lake, Turkey (Figure 1). 5 water (W) and 4 sediment (S) samples were taken from 5 different sampling points from Lake. 1st 2nd and 3th sampling points are especially selected to the study places where there are more residential areas, besides that agricultural pollution is very intense at 4th and 5th sampling points. Egirdir Lake is one of the most important water sources of Turkey both a source of drinking water and an agricultural applications and other purposes such as tourism. But domestic and agricultural pollution is another serious problem in that area. Egirdir Lake was preferred as study area. Because the presence of micro-pollutants and the increase of naturally occurring compounds is a major environmental problem.

2.3. Analytical Devices and Sample Preparation

2.3.1. ICP-MS

ICP-MS system (Perkin Elmer ELAN DRC-e) was used as simultaneous multi-element determined of ¹⁰⁷Ag, ⁷⁵As, ¹³⁷Ba, ⁹Be, ¹¹¹Cd, ⁵⁹Co, ⁵²Cr, ⁶³Cu, ⁵⁷Fe, ⁵⁵Mn, ⁶⁰Ni, ²⁰⁸Pb, ¹²¹Sb, ⁸⁸Sr, ²⁰⁵Tl, ⁵¹V and ⁶⁶Zn. The ICP-MS conditions are shown in Table 1 (Cengiz et al., 2017). Perkin Elmer Elan DRC-e model ICP-MS device was used to obtain fast and reliable results since the concentrations of the elements to be detected in drinking and utility water samples are considered in the low-high dynamic range. The Elan DRC-e model ICPMS (Perkin Elmer SCIEX, Norwalk, CT, ABD) equipment was utilized because of the low and high concentrations of the elements that needed to be detected in the lake water content. Because both concentration levels will yield quick and trustworthy findings (Alastuey et al., 1999; Norela et al., 2013; Pu et al., 2017). To measure the element concentrations in lake water samples, the EPA Method 6020-A analysis method was used.

Table 1. ICP-MS operating terms

Spectrometer	Elan DRC-e (Perkin Elmer SCIEX, Norwalk, CT, USA)
Sample Introduction	Scott Spray Chamber
RF Power	1000
Skimmer/Sampler Cone	Nickel
Gas flow rates (L min ⁻¹)	Nebulizer gas flow: 0.91, Auxillary gas flow:1.19, Plasma gas flow:18
Nebulizer	Meinhard TQ plus Quartz 0.5 ml
Scanning mode	Peak hopping
Analytical masses (amu)	Standart mode ¹⁰⁷ Ag, ⁷⁵ As, ¹³⁷ Ba, ⁹ Be, ¹¹¹ Cd, ⁵⁹ Co, ⁵² Cr, ⁶³ Cu, ⁵⁷ Fe, ⁵⁵ Mn, ⁶⁰ Ni, ²⁰⁸ Pb, ¹²¹ Sb, ⁸⁸ Sr, ²⁰⁵ Tl, ⁵¹ V and ⁶⁶ Zn
Number of sweeps/reading	20
Number of readings/replicate	1
Number of replicates	3
Auto sampler	CETAX ASX-520
Dwell time per AMU (ms)	50
Sample flush	Time (50), speed (+/- rpm)-48
Read delay	Time (15), speed (+/- rpm)-20

2.3.2. Sample preparation for elemental analysis

In this research, five different locations were collected from Egirdir Lake. Samples were sent to the laboratory by cold chain using 1000 mL sample collection bottle. For these, samples were collected in 1 liter bottles. Then 100

mL samples were filtered through 0.45 µm filters and they were acidified with 3 mL HNO₃, 2 mL HCl, and 0.5 mL HF. As a result of acidification in water samples, pH < 2 was ensured. It was evaporated at a temperature of 70-80 degrees until 5-6 mL of solution remained in the water bath. The same acidification procedure was repeated a second time and evaporated until 5-6 mL of liquid remained. The final volume was brought to 15 mL with 18.2 mΩ distilled water. Concentration calculations were made by considering the initial sample volume (100 mL) and the final volume (15 mL) while making the calculation (Kılıç et al. 2015). Each sediment sample was collected approximately 15-20 cm below the surface using a shovel. The part in contact with the metal of the shovel used for sediment samples was removed. Weeds, gravel and other debris were removed from the sediment samples whenever possible. Each sample was used as approximately 100 g. It was then ground to pass through the sieve and stored for analysis. ETHOS One Microwave Digestion System (Milestone Inc. Italy) branded device was used for the sample digestions. The final volumes of the digested samples were completed to 15 mL with 18.2 mΩ pure water. Triplicate samples were collected from each sampling site, and elemental concentrations were determined for each sample in triplicate using the ICP-MS instrument. The average results were given by using the dilution coefficient of the obtained data. The microwave temperature program was linearly increased from room temperature to 180 °C in 5 minutes, and in the second step the temperature was increased to 220 °C linearly in 25 minutes (Kilic and Pamukoglu, 2023).

2.3.3. IC

Ion Chromatography (DIONEX ICS-5000 Anion-Cation System) is dual system that was used both anion (F⁻, NO₂⁻, Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻, PO₄³⁻) and cation (Ca²⁺, Na⁺, Mg²⁺, NH₄⁺, K⁺, Li⁺) analysis. The ICS-5000 conditions were given Table 2.

Table 2. ICS-5000 operating terms

Anions		
Columns	Analytic, IonPac AS19 (250x2 mm); Guard, IonPac AG19 (50x2 mm)	
Column temperature	40 °C	
Flow	0.3 mL/min	
Injection volume	500 µL	
Detector	Suppressed Conductivity Anion Self-Regenerating Suppressor, ASRS 300(2-mm) AutoSuppression Recycle Mode Suppressor Current 34 mA	
Eluent	Potassium hydroxide	
Gradient Program	Time (min.)	KOH (mM)
	0	10
	10	10
	25	45
	26.1	10
31.0	10	
Cations		
Columns	Analytic, IonPac CS16 (250*3 mm); Guard, IonPac CG16 (50*3mm)	
Column temperature	40 °C	
Flow	0.4 mL/min.	
Injection volume	25 µL	
Detector	Suppressed Conductivity Cation Self-Regenerating Suppressor, CSRS 300(2-mm) Auto Suppression Recycle Mode Suppressor Current 41 mA	
Eluent	Methane Sulfonic Acid (MSA) Eluent Generator Concentration: 35 mM MSA (Isocratic)	

In containers that were tightly sealed, all solutions were stored at 4 °C. The eluent flowed at a rate of 1.0 mL/min. Thermo Scientific, Waltham, Massachusetts, USA) Dionex ICS-5000 ion chromatograph, which has a dual-piston pump, two valves (a six-port valve and a ten-port valve, of which I only utilized the six-port valve), and a 25 L sample loop, was used to do the cation separation. Under the working conditions, all anions and cations were entirely separated, and the entire analysis took 30 minutes. Anions and cations in samples were identified by comparing their retention times to those of commercially available standards. Calibration points prepared using redox 104 anion and 238 cation standards are shown in Tables 3 and 4 (Kilic and Pamukoğlu.2023).

Table 3. The calibration standards 1 (mg L⁻¹)

PO₄³⁻	Cl⁻	NO₃⁻	NO₂⁻	SO₄²⁻	F⁻
200	100	100	100	100	20
PO₄³⁻	Cl⁻	NO₃⁻	NO₂⁻	SO₄²⁻	F⁻
0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.02
0.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.04
0.8	0.4	0.4	0.4	0.4	0.08
2	1	1	1	1	0.2
4	2	2	2	2	0.4
10	5	5	5	5	1

Table 4. The calibration standards 2 (mg L⁻¹)

Ca²⁺	K⁺	NH₄⁺	Mg²⁺	Na⁺
500	500	250	250	200
Ca²⁺	K⁺	NH₄⁺	Mg²⁺	Na⁺
0.5	0.5	0.25	0.25	0.2
1	1	0.5	0.5	0.4
2	2	1	1	0.8
5	5	2.5	2.5	2
10	10	5	5	4

2.3.4. Sample preparation for ion analysis

Transported to the lab and stored there in the refrigerator were the collected samples. Each lake water sample contained 100 mL, which was filtered using a 0.22 m cellulose acetate filter syringe. There was no preliminary work completed for sample preparation. Only samples were put into the vials for the ion chromatography. Utilizing a Dionex ICS 5000 model ion chromatography apparatus, the anion and cation were examined. Anions (F⁻, Br⁻, NO₂⁻, Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻, PO₄³⁻) and cations (Ca²⁺, Na⁺, Mg²⁺, NH₄⁺, K⁺) were measured in the samples. Ion Pac AS19 (250x2 mm) was the analytical column utilized for the anion measurements, while Ion Pac AG19 (50x2 mm) was the guard column. The matching columns for the cations were Ion Pac CS16 (250x3 mm) and Ion Pac CG16 (50x3 mm). Methane sulfonic acid and potassium hydroxide (KOH) were used as the eluents for the measurements of cations and anions, respectively. The instrumental conditions are listed in Table 2 (Perin et al., 2021; Kilic et al., 2023).

2.3.5. LC-MS/MS

A Thermo Scientific TSQ Fortis UHPLC-MS/MS system was used in research for pesticide analysis. Thermo Scientific Hypersil Gold RP C18 Column (100mm x 2.1mm, particle size: 1.9 micron) was used to remove other non-polar interferences. Mobil Phase A (1 mL Formic Acid + 4 mM Ammonium Formate in % 95-5 Water-Methanol) and Mobil Phase B (1 mL Formic acid + 4 mM Ammonium formate in % 5-95 water-methanol) was used. Operating conditions were as follows: column oven temperature: 40 °C; capillary temperature: 270 °C; evaporation temperature: 50 °C; sheath gas pressure (Arb): 50; auxiliary gas pressure (Arb): 20; spray Voltage (V): ± 3500; injection: 10 µL. The LC-MS/MS status was given in Table 5 and instrument parameters of the detected pesticides was given in Table 6.

Table 5. The LC-MS/MS operating terms

Time	Mobil Phase A%	Mobil Phase B%	Flow (µL min⁻¹)
0.00	90	10	600
0.30	85	15	600
2.20	80	20	600
3.00	70	30	200
4.00	50	50	250
8.00	40	60	300
11.00	35	65	300
12.00	25	75	300
13.00	15	85	300
14.50	0	100	300
15.80	90	10	300

Table 6. Instrument parameters of the detected pesticides

Pesticide	Polarity	Precursor ion	Product ions	Collision energies
Acetamiprid	Positive	223.2	126.1 / 99.1	-15 / -22
Chlorpyrifos	Positive	350.1	198.1 / 97.1	-15 / -25
Cyprodinil	Positive	226.1	209.1 / 133.1	-25 / -30
Methidathion	Positive	303.0	85.0 / 145.0	-10 / -18
Pyridaben	Positive	365.1	309.1 / 311.1	-12 / -20

2.3.6. Sample preparation for pesticide analysis

QuEChERS (Quick-Easy-Cheap-Effective-Rugged-Safe) extraction method was used for the determination of pesticide residues (Lehotay, 2007). Homogenized water samples were weighed as 15 gram in a 50 mL teflon (FEP) tube and homogenized soil samples were weighed also as 15 gram and added 12 mL water to soil samples for working of QuEChERS method. Onto 15 mL of 1% acetic acid containing acetonitrile (ACN) was added. After adding acetonitrile, 1.5 g anhydrous sodium acetate (NaAc) + 6 g anhydrous magnesium sulfate ($MgSO_4$) mixture and 300 μ l standard were added. It could not be rinsed by hand for 1.5 minutes. It was centrifuged for 5 minutes at 4000 rpm. After the extract was transferred to the tubes, 200 mg of primary secondary amine (PSA) + 600 mg of anhydrous magnesium sulfate ($MgSO_4$) was added and mixed for the cleanup process. It was centrifuged again at 4000 rpm for 5 minutes. 1 mL extract was taken into vials and LC-MS/MS analysis was performed (Nagel, 2009; Ruiz-Gil et al., 2008; USEPA, 2007b).

2.3.7. Method validation studies

Experimental demonstration of the suitability of an analytical method is important in the practice of analytical measurement. These several analytical measurements parameters were evaluated for linear range, recovery, limit of detection (LOD), and limit of quantification (LOQ), accuracy, and precision. The quantification was done by using a calibration curve for each. This analytical method validation was made according to Eurachem guide (Eurachem, 2014).

3. Result and Discussion

3.1. Analytical Method Study Results

The coefficient (R^2) more than 0.9992 was obtained for all elements. LOD is the minimum concentration of analyte in a sample. LOQ is the minimum concentration that can be determined with an admissible level of repeatability and accuracy. The LOD, LOQ data for elements were shown in Table 7 (Kılıç et al., 2015).

Table 7. Analytical method results of the elements

Elements	Regression equation	R^2	LOD (μ g L ⁻¹)	LOQ (μ g L ⁻¹)
Ag	$y = 9228x + 2911$	0.9996	0.2	0.6
As	$y = 1672.9x + 113.01$	0.9997	0.3	1.1
Ba	$y = 17384x + 12917$	0.9998	0.7	2.5
Be	$y = 395.3x + 55.11$	0.9995	0.2	0.7
Cd	$y = 1927.6x + 295.63$	0.9997	0.1	0.2
Co	$y = 11598x + 4197.7$	0.9993	0.1	0.3
Cr	$y = 8786.3x + 1995$	0.9994	0.1	0.3
Cu	$y = 8829.3x + 4912.5$	0.9992	0.1	0.4
Ni	$y = 2676.3x + 603.46$	0.9996	0.6	1.9
Fe	$y = 271.18x + 292.86$	0.9994	3.2	10.5
Mn	$y = 12092x + 2596.3$	0.9994	0.1	0.5
Pb	$y = 11443x + 4007.9$	0.9994	0.2	0.6
Sb	$y = 5414.x + 1144$	0.9997	0.1	0.4
Sr	$y = 15783x - 6211.1$	0.9996	0.7	2.3
Tl	$y = 17025x - 6069.9$	0.9998	0.1	0.2
V	$y = 9966.9x + 2158.4$	0.9993	0.1	0.4
Zn	$y = 1731x - 2667.4$	0.9998	0.6	1.9

The recovery was made using with SPS-SW2 Surface Water certified reference material for elements (Table 8). For recovery analysis were spiked (Lake water) with the minimum ($4.0 \mu\text{g L}^{-1}$), middle ($40 \mu\text{g L}^{-1}$), and maximum ($80 \mu\text{g L}^{-1}$) concentrations and then analyzed. The results were set between 99 and 107% for $4.0 \mu\text{g L}^{-1}$, 99 and 103% for $40 \mu\text{g L}^{-1}$, and 99 and 101% for $80 \mu\text{g L}^{-1}$. The specificity/selectivity of the method was in an acceptable range of 80-120% (Millour et al. 2011). The average RSD % values was found between 0.1 and 2.3. The mean data was given in Table 9.

Table 8. The recovery values of elemental analysis

Elements	(SPS-SW2 Surface Water) (N=7) Real Value ($\mu\text{g L}^{-1} \pm \text{SD}$) (N=7)	(SPS-SW2 Surface Water) (N=7) Measured ($\mu\text{g L}^{-1} \pm \text{SD}$) (N=7)	Recovery values (SPS-SW2 Surface Water) (N=7)
Ag	Not available in CRM	-	-
As	50 ± 0.3	50.88 ± 0.11	102 ± 0.2
Ba	250 ± 1	251.01 ± 0.25	100 ± 0.1
Be	Not available in CRM	-	-
Cd	2.50 ± 0.02	2.52 ± 0.02	101 ± 0.7
Co	10.0 ± 0.05	10.19 ± 0.03	102 ± 0.3
Cr	10.0 ± 0.05	10.03 ± 0.03	101 ± 0.3
Cu	100 ± 1	104.61 ± 0.34	104 ± 0.3
Ni	50.0 ± 0.3	50.85 ± 0.19	102 ± 0.4
Fe	100 ± 1	100.11 ± 1.05	100 ± 1.0
Mn	50.0 ± 0.3	51.27 ± 0.05	103 ± 0.1
Pb	25.0 ± 0.1	25.89 ± 0.06	103 ± 0.2
Sb	Not available in CRM	-	-
Sr	250 ± 1	250.16 ± 0.23	100 ± 0.1
Tl	2.50 ± 0.02	2.47 ± 0.02	99 ± 0.9
V	50.0 ± 0.3	49.99 ± 0.04	100 ± 0.1
Zn	100 ± 2	99.66 ± 0.19	99 ± 0.2

Table 9. Recovery values (%) and average precision values (RSD %) of elements in spiked samples.

Elements	Recovery values ($4 \mu\text{g L}^{-1}$) (N=7)	Recovery values ($40 \mu\text{g L}^{-1}$) (N=7)	Recovery values ($80 \mu\text{g L}^{-1}$) (N=7)	Precision values (RSD)
Ag	101 ± 0.05	102 ± 0.04	101 ± 0.04	0.1
As	101 ± 0.5	102 ± 0.6	101 ± 0.2	0.2
Ba	103 ± 0.9	103 ± 0.1	99.0 ± 0.2	0.4
Be	99 ± 1.8	101 ± 1.7	100 ± 0.7	0.6
Cd	102 ± 0.5	100 ± 0.5	100 ± 0.3	0.2
Co	102 ± 0.7	103 ± 0.7	101 ± 0.1	0.5
Cr	103 ± 1.2	99.0 ± 0.1	101 ± 0.3	0.5
Cu	105 ± 0.9	100 ± 0.1	100 ± 0.1	0.5
Ni	103 ± 1.4	99.1 ± 0.4	99.0 ± 0.3	0.7
Fe	-	100 ± 3.4	100 ± 1.3	2.3
Mn	107 ± 0.6	103 ± 0.1	101 ± 0.1	0.2
Pb	104 ± 1.3	99.0 ± 0.1	99.0 ± 0.1	0.5
Sb	103 ± 1.0	100 ± 0.1	99.1 ± 0.2	0.5
Sr	104 ± 0.6	100 ± 0.1	101 ± 0.3	0.3
Tl	99 ± 0.5	103 ± 0.1	99.0 ± 0.3	0.2
V	101 ± 1.1	100 ± 0.1	101 ± 0.6	0.5
Zn	-	103 ± 0.7	99.0 ± 0.3	0.8

The LODs for the ions were from 0.01 to 0.3 mg L^{-1} . In the study, RSD values were in the acceptable limit of 5 %. The linearity was appraised in the range of 0–200 $\mu\text{g kg}^{-1}$. R^2 coefficient more than 0.996 were obtained for anion/cations (Table 10). Recovery studies with seven replicates were performed for each concentration and results shown in Table 11. The concentration ranges of all ions were similar to the literature values (Kilic and Pamukoğlu, 2023).

Table 10. Method validation results of the ions

Cation/anion	%RSD	LOD (mg L ⁻¹)	LOQ (mg L ⁻¹)
K ⁺	2.9	0.1	0.3
Ca ²⁺	3.3	0.3	1.0
NH ₄ ⁺	5.0	0.05	0.2
Mg ²⁺	2.7	0.3	1.0
Na ⁺	3.5	0.2	0.8
Li ⁺	1.4	0.01	0.03
F ⁻	3.0	0.01	0.03
Cl ⁻	2.0	0.3	1.0
NO ₂ ⁻	3.5	0.02	0.1
NO ₃ ⁻	2.5	0.2	1.0
SO ₄ ²⁻	2.0	0.08	0.3
PO ₄ ³⁻	2.0	0.06	0.2

Table 11. Recovery values for anion/cation

Anion/Cation	Recovery	Recovery ±SD (N=7)	Recovery	Recovery ±SD (N=7)
F ⁻	0.2 (mg L ⁻¹)	102.02±0.021	0.4 (mg L ⁻¹)	98.92±0.001
Cl ⁻	1.0 (mg L ⁻¹)	100.37±0.011	2.0 (mg L ⁻¹)	101.77±0.018
NO ₂ ⁻	1.0 (mg L ⁻¹)	101.08±0.019	2.0 (mg L ⁻¹)	98.36±0.015
NO ₃ ⁻	1.0 (mg L ⁻¹)	101.38±0.054	2.0 (mg L ⁻¹)	105.23±0.13
SO ₄ ²⁻	1.0 (mg L ⁻¹)	98.63±0.012	2.0 (mg L ⁻¹)	101.37±0.061
Li ⁺	0.8(mg L ⁻¹)	103.81±0.015	4.0 (mg L ⁻¹)	100.01±0.034
Na ⁺	0.8(mg L ⁻¹)	103.53±0.005	4.0 (mg L ⁻¹)	102.63±0.199
NH ₄ ⁺	1.0 (mg L ⁻¹)	103.35±0.023	5.0 (mg L ⁻¹)	103.73±0.215
K ⁺	2.0 (mg L ⁻¹)	100.33±0.06	5.0 (mg L ⁻¹)	102.42±0.14
Mg ²⁺	1.0 (mg L ⁻¹)	101.26±0.010	5.0 (mg L ⁻¹)	101.39±0.151
Ca ²⁺	2.0 (mg L ⁻¹)	102.68±0.004	5.0 (mg L ⁻¹)	98.45±0.083

The coefficient of determination, more than 0.996 was detected for pesticides. The LOD, LOQ and R² values were shown at Table 12 for all the pesticides. For recovery analysis were spiked with the 10 µg kg⁻¹ and 100 µg kg⁻¹ concentrations and analyzed. Recovery results were summarized in Table 13. The average recovery values were acceptable (USEPA, 2007b).

Table 12. Method validation results of the pesticides

Pesticides	Regression Equation	R ²	LOD (µg kg ⁻¹)	LOQ (µg kg ⁻¹)
Acetamiprid	y = 129219x + 629002	0.996	1.9	5.7
Chlorpyrifos	y = 173257x + 366804	0.998	2.6	7.7
Cyprodinil	y = 91154x + 136489	0.998	2.2	6.6
Methidathion	y = 260048x + 663273	0.998	2.3	6.8
Pyridaben	y = 378447x + 518431	0.999	2.2	6.5

Table 13. %Recovery values for pesticides

Pesticide	Recovery	%Recovery ± %Uncertainty (N=6)	Recovery	%Recovery ± %Uncertainty (N=6)
Acetamiprid	10 µg kg ⁻¹	79.73±15.94	100 µg kg ⁻¹	91.58±20.74
Chlorpyrifos	10 µg kg ⁻¹	88.61±19.42	100 µg kg ⁻¹	94.82±26.70
Cyprodinil	10 µg kg ⁻¹	89.41±16.53	100 µg kg ⁻¹	96.75±12.54
Methidathion	10 µg kg ⁻¹	97.84±15.06	100 µg kg ⁻¹	98.10±15.84
Pyridaben	10 µg kg ⁻¹	95.96±15.84	100 µg kg ⁻¹	96.13±15.40

3.2. Element Analysis Results

According to the results in Table 14, elements (Ag, Be, Cd, Sb) included those having values less than the limit of detection in water and sediment samples. The concentrations of heavy metals in river water samples were lower than those of the other river water samples (Tauraj , 2015). All Tl concentrations analyzed in the Egirdir Lake

water samples are under the limit of detection value. Concentrations of Co were determined to be 943, 1175, 3901 and 6120 $\mu\text{g L}^{-1}$ for sediment sampling points of 1st, 4th, 5th and 3th, respectively, and were found to be <LOD in the water samples. Toxic trace elements including As, and Pb are of great concern, their need careful monitoring. Pb collects in the bodies of water and soil organisms and affects health. However, all samples contained As and Pb at concentrations ranging from 10 to 8900 $\mu\text{g L}^{-1}$ and 1- 5262 $\mu\text{g L}^{-1}$, respectively. While elemental results were low in samples taken from water sampling points in the lake (As and Pb, approximately 10 $\mu\text{g L}^{-1}$ and 1 $\mu\text{g L}^{-1}$, respectively), it was observed that the elemental analysis results in sediment were quite high due to accumulation (As and Pb, approximately 8900 $\mu\text{g L}^{-1}$ and 5262 $\mu\text{g L}^{-1}$, respectively). The results of minor elements were found as Ba (15-269697 $\mu\text{g L}^{-1}$), Cr (6-16792 $\mu\text{g L}^{-1}$), Cu (1-6290 $\mu\text{g L}^{-1}$), Fe (38-8066579 $\mu\text{g L}^{-1}$), Mn (0.3-174178 $\mu\text{g L}^{-1}$), Ni (1-26496 $\mu\text{g L}^{-1}$), Sr (63-42042 $\mu\text{g L}^{-1}$), V (2-23299 $\mu\text{g L}^{-1}$) and Zn (1-7040 $\mu\text{g L}^{-1}$). Cr inserts the water, air and soil in the Cr (III) and Cr (VI) forms. The respiratory tract is also the major aim organ for Cr (III) toxicity, similar to Cr (VI). The amounts of Ni in the water of river and lake are very low. After Ni gets into our body, it can insert to all organs. Mn is toxic when high amounts are being found in human body. Fe is the most abundant (34.6%) element making up the Earth. Cu can be released into the environment by natural resources and human. Industrial waste involving metals are the main source of Zn contamination (Lenntech, 2018; Turhan et al., 2021).

Table 14. Composition of samples obtained by ICP-MS ($\mu\text{g L}^{-1}\pm\text{SD}$) (N=3)

S	Ag	As	Ba	Be	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Sb	Sr	Tl	V	Zn
W1	<LOD	11±0.005	16±0.001	<LOD	<LOD	<LOD	7±0.005	2±0.005	41±0.005	0.3±0.005	7±0.005	2±0.005	<LOD	64±0.001	<LOD	2±0.001	5±0.001
W2	<LOD	10±0.001	18±0.001	<LOD	<LOD	<LOD	7±0.001	3±0.02	66±0.005	1±0.001	3±0.005	4±0.002	<LOD	66±0.004	<LOD	2±0.002	5±0.002
W3	<LOD	10±0.002	86±0.05	<LOD	<LOD	<LOD	8±0.004	3±0.001	81±0.02	3±0.01	1±0.004	1±0.02	<LOD	98±0.003	<LOD	2±0.01	3±0.002
W4	<LOD	12±0.01	16±0.01	<LOD	<LOD	<LOD	7±0.03	3±0.04	46±0.06	1±0.01	2±0.002	1±0.002	<LOD	68±0.01	<LOD	2±0.01	9±0.003
W5	<LOD	12±0.01	15±0.01	<LOD	<LOD	<LOD	7±0.04	1±0.002	40±0.01	0.3±0.003	1±0.02	1±0.03	<LOD	69±0.1	<LOD	2±0.005	1±0.01
S1	<LOD	8900±11	28758±7	<LOD	<LOD	943±2	2597±1	701±1	225099±135	139286±16	3738±11	1772±2	<LOD	79173±14	<LOD	6530±26	1488±3
S2	<LOD	7470±31	12752±28	<LOD	<LOD	1175±1	2371±3	763±1	2611185±162	120049±5	2553±1	1635±1	<LOD	35558±5	<LOD	6775±19	1699±2
S3	<LOD	2268±1	269697±7	<LOD	<LOD	3901±1	9659±1	6552±2	6241772±47	127715±8	12942±5	5262±1	<LOD	71813±4	107±1	25062±4	6359±2
S5	<LOD	2456±1	18324±6	<LOD	<LOD	6120±2	16792±1	6290±3	8066579±34	174178±8	26496±4	2240±1	<LOD	42042±34	44±1	23299±4	7040±2

S4 sample could not be taken

3.3. Ion Analysis Results

According to the results in Table 15, Li^+ , NO_3^- , PO_4^{3-} determined those having values less than the limit of detection in samples. K^+ , Ca^{2+} , NH_4^+ , Mg^{2+} , Na^+ , F^- , Cl^- , NO_2^- , SO_4^{2-} ions were detected in all samples. NH_4^+ is not significantly toxic to aquatic organisms. High Na^+ amounts are seen in salty wastewater. The amount of K^+ is also a pollution parameter that can be evaluated in a similar to Na^+ . The Cl^- and F^- ions are one of the ions that can be protected during the hydrological cycle in water (Tokalioglu and Kartal, 2002).

Table 15. Ion amounts in water samples ($\text{mg L}^{-1}\pm\text{SD}$) (N=3)

Samples	K^+	Ca^{2+}	NH_4^+	Mg^{2+}	Na^+	Li^+	F^-	Cl^-	NO_2^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	PO_4^{3-}
W1	3.6±0.01	12.8±0.02	0.9±0.02	38.4±0.02	11.7±0.02	<LOD	0.2±0.02	8.6±0.02	0.02±0.01	<LOD	9.9±0.02	<LOD
W2	3.2±0.01	15.9±0.02	0.8±0.02	36.9±0.02	11.3±0.01	<LOD	0.3±0.03	8.2±0.02	0.06±0.02	<LOD	9.5±0.02	<LOD
W3	3.8±0.02	20.9±0.03	0.8±0.02	38.3±0.02	11.8±0.02	<LOD	0.2±0.02	8.9±0.03	0.03±0.01	<LOD	9.4±0.02	<LOD
W4	3.5±0.02	13.5±0.01	0.8±0.02	38.4±0.02	12.2±0.01	<LOD	0.1±0.04	9.1±0.03	0.03±0.01	<LOD	10.2±0.01	<LOD
W5	3.4±0.01	12.8±0.01	0.8±0.02	38.4±0.03	12.8±0.01	<LOD	0.1±0.03	8.9±0.02	0.04±0.02	<LOD	9.9±0.01	<LOD

3.4. Pesticide Analysis Results

322 pesticides compatible with LC-MS/MS were screened. Because detected pesticides are compatible with this device. 322 pesticides were screened and 5 pesticides were detected as a result of this screening. In Table 15, acetamiprid, methidathion, cyprodinil and pyridaben pesticides were included those having values less than the limit of detection in water samples. Chlorpyrifos were measured between 0.01 and 0.06 mg kg^{-1} in all sediment

samples. Chlorpyrifos, acetamiprid, methidathion, cyprodinil, pyridaben pesticide species were detected in all sediment samples at the 5th sampling point where there is a lot of agricultural activity. The concentrations of pesticides in samples were similar than those of the other samples (Fang et al., 2017).

Pesticides with long half-lives reach water resources, harm aquatic creatures, and the use of these waters as a source of drinking water poses a danger to humans. Agriculture Pesticides applied in the fields reach water resources through mechanisms such as precipitation, wind, soil seepage, atmospheric transport.

Table 15. Pesticide residues in samples (mg kg⁻¹)

Samples	Chlorpyrifos	Acetamiprid	Methidathion	Cyprodinil	Pyridaben
W1	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
W2	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
W3	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
W4	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
W5	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
S1	0.06	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
S2	0.01	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
S3	0.04	0.01	0.03	0.01	0.02
S5	0.05	<LOD	0.02	0.01	<LOD

4. Conclusions

In this study, an analytical method was validated to determine the pesticide residues such as chlorpyrifos, acetamipride, methyladione, ciprodinil and pyridaben, ions and elements of in the samples of Egirdir Lake. The linearity, limits of detection and quantification, recovery, trueness and precision were calculated. The accuracy of the method and the spiked performance were considered satisfying. According to the elemental analysis results, Ag, Be, Cd, Tl, Sb was measured at values lower than the detection limit in all water samples. However, As and Pb were detected in all samples at concentrations. In pesticide analyses, acetamiprid, methidathion, cyprodinil and pyridaben pesticides included those with values lower than the detection limit in water samples. Chlorpyrifos were measured between 0.01 and 0.06 mg kg⁻¹ in all sediment samples. Chlorpyrifos, acetamiprid, methylation, cyprodinil, pyridaben pesticide types were detected in all sediment samples due to agricultural activities. According to the ion analysis results, Li⁺, NO₃⁻ and PO₄⁻³ were measured at values lower than the detection limit in all water samples. With monitoring studies, heavy metals, ions and pesticides in water resources are the first step in determining how the pollution will be managed before it reaches the source to reveal the pollution and how to control this pollution.

Acknowledgements

The authors wish to thank the Akdeniz University, Food Security and Agricultural Research Center for the help in analysis.

Conflict of Interest

The authors have no conflicts of interest to declare.

References

- Aceña, J., Stampachiachiere, S., Pérez, S., Barceló, D., 2015. Advances in liquid chromatography - high-resolution mass spectrometry for quantitative and qualitative environmental analysis. *Anal Bioanal Chem*, 407, 6289–6299.
- Akinsete, E., Apostolaki, S., Chatzistamoulou, N., Koundouri, P., 2019. The link between ecosystem services and human wellbeing in the implementation of the European water framework directive: Assessing four river basins in Europe. *Water*, 11(3), 508.
- Altenburger, R., Brack, W., Burgess, R.M., Busch, W., Escher, B.I., Focks, A., Hewitt, L.M., Bo-Jacobsen, N., Lopez de Alda, M., Ait-Aissa, S., Backhaus, T., Ginebreda, A., Hilscherova, K., Hollender, J., Hollert, H., Neale, P.A., Schulze, T., Schymanski, E.L., Teodorovic, I., Tindall, A.J., De Aragao Umbuzeiro, G., Vrana, B., Zonja, B., Kraus, M., 2019. Future water quality monitoring: improving the balance between exposure and toxicity assessments of real-world pollutant mixtures. *Environmental Science Europe*, 31(1), 1-17.
- Andrade-Eiroa, A., Canle, M., Leroy-Cancellieri, V., Cerdà, V., 2016. Solid-phase extraction of organic compounds: a critical review (part I). *TrAC Trends Analytical Chemistry*, 80, 641–654.

- Bade, R., Causanilles, A., Emke, E., Bijlsma, L., Sancho, J.V., Hernandez, F., de Voogt, P., 2016. Facilitating high resolution mass spectrometry data processing for screening of environmental water samples: an evaluation of two deconvolution tools. *Science Total Environmental*, 569–570, 434–441.
- Balakrishna, K., Rath, A., Praveenkumarreddy, Y., Guruge, K.S., Subedi, B., 2017. A review of the occurrence of pharmaceuticals and personal care products in Indian water bodies. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 137, 113–120.
- Berberler, E., Gemici, B.T., Uzun-Ozel, H., Demir, D., Karakas, D., 2022. Source identification of water-insoluble single particulate matters in rain sequences. *Atmospheric Pollution Research*, 13, 101499.
- Bu, Q., Wang, B., Huang, J., Deng, S., Yu, G., 2013. Pharmaceuticals and personal care products in the aquatic environment in China: a review. *J. Hazard. Mater.* 262, 189–211.
- Carvalho, L., Mackay, E.B., Cardoso, A.C., Baatrup-Pedersen, A., Birk, S., Blackstock, K.L., Borics, G., Borja, A., Feld, C.K., Ferreira, M.T., Globeynik, L., Grizetti, B., Hendry, S., Hering, D., Kelly, M., Langaas, S., Meissner, K., Panagopoulos, Y., Penning, E., Rouillard, J., Sabater, S., Schmedtje, U., Spears, B.M., Venohr, M., Van de Bund, W., Solheim, A.L., 2019. Protecting and restoring Europe's waters: An analysis of the future development needs of the Water Framework Directive. *Science Total Environmental*, 658, 1228–1238.
- Ccaccapa-Cartagena, A., Pico, Y., Ortiz, X., & Reiner, E.J. 2019. Suspect, non-target and target screening of emerging pollutants using data independent acquisition: Assessment of a Mediterranean River basin. *Science Total Environmental*, 687, 355–368.
- Cengiz, M.F., Kilic, S., Yalcin, F., Kilic, M., Yalcin, M.G., 2017. Evaluation of heavy metal risk potential in Bogacayi River water (Antalya, Turkey). *Environmental Monitoring Assessment*, 189(6), 248.
- Christophoridis, C., Evgenakis, E., Bourliva, A., Papadopoulou, L., Fytianos, K., 2020. Concentration, fractionation, and ecological risk assessment of heavy metals and phosphorus in surface sediments from lakes in N. Greece. *Environmental Geochemistry Health*, 42(9), 2747–2769.
- Chowdhury, S., Mazumder, M.A.J., Al-Attas, O., Husain, T., 2016. Heavy metals in drinking water: occurrences, implications, and future needs in developing countries. *Science Total Environmental*, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.06.166>
- Dickens, C., Smakhtin, V., McCartney, M., O'Brien, G.C., Dahir, L., 2019. Defining and quantifying national-level targets, indicators and benchmarks for management of natural resources to achieve the sustainable development goals. *Sustainability*, 11(2), 462.
- Eurachem, 2014. *The Fitness for Purpose of Analytical Methods: A Laboratory Guide to Method Validation and Related Topics*. Uppsala, Sweden, 75.
- Fang, Y., Nie, Z., Die, Q., Tian, Y., Liu, F., He, J., Huang, Q., 2017. Organochlorine pesticides in soil, air, and vegetation at and around a contaminated site in southwestern China: concentration, transmission, and risk evaluation. *Chemosphere* 178, 340–349.
- Faraji, M., Yamini, Y., Gholami, M., 2019. *Recent Advances and Trends in Applications of Solid-phase Extraction Techniques in Food and Environmental Analysis*. Chromatographia. Springer Berlin Heidelberg <https://doi.org/10.1007/s10337-019-03726-9>.
- Hashemi, B., Zohrabi, P., Shamsipur, M., 2018. Recent developments and applications of different sorbents for SPE and SPME from biological samples. *Talanta*, 187, 337–347.
- Hussain, M.I., Muscolo, A., Farooq, M., Ahmad, W., 2019. Sustainable use and management of non-conventional water resources for rehabilitation of marginal lands in arid and semiarid environments. *Econpapers*, 221, 462–476.
- Kayembe, J.M., Bokwoko, M.I., Sivalingam, P., Ngelinkoto, P., Otamonga, J.P., Mulaji, C.K., Mubedi, J.I., Pote, J., 2020. Effect of untreated urban effluents on the accumulation of toxic metals in river sediments under tropical conditions: Funa River, Kinshasa, Democratic Republic of the Congo. *Water and Environmental*, 34(2), 180–188.
- Kilic, M., Pamukoğlu, M.Y. 2023. Characterization of water-insoluble particulate matters in sequential rain samples collected by a novel automatic sampler in Antalya, Turkey. *Atmospheric Pollution Research*, 14(4), 101722.
- Kilic, M., Kilic, S., Yenisoý-Karakas, S. 2023. The method development for elimination of matrix interferences in seawater monitoring to determine elements by ICP-MS. *Environ Monit Assess.* 195:180.
- Kilic, S., Yenisoý-Karakas, S., Kilic, M. 2015. Metal Contamination in Fruit Juices in Turkey: Method Validation and Uncertainty Budget. *Food Anal. Methods*. DOI 10.1007/s12161-015-0136-4.
- Kumar, V., Parihar, R.D., Sharma, A., Bakshi, P., Singh Sidhu, G.P., Bali, A.S., Karaouzas, I., Bhardwaj, R., Thukral, A.K., Gyasi-Agyei, Y., Rodrigo-Comino, J., 2019. Global evaluation of heavy metal content in surface water bodies: a meta-analysis using heavy metal pollution indices and multivariate statistical analyses. *Chemosphere*, 236, 124364.
- Kümmerer, K., Dionysiou, D.D., Olsson, O., Fatta-Kassinos, D., 2019. Reducing aquatic micropollutants—Increasing the focus on input prevention and integrated emission management. *Leuphana*, 652, 836–850.
- Laskowski, S.R., 2007. Information, Participation and Public Control in Water Management & Water Infrastructure Development: the European and German Perspective, in *Urban Water Management for Future Cities*. 2019, Springer. pp. 391–402.
- Lehotay, S.J., 2007. Determination of pesticide residues in foods by acetonitrile extraction and partitioning with magnesium sulfate: collaborative study. *Journal of AOAC International*, 90, 485–520.
- Lenntech, 2018. <https://www.lenntech.com/periodic/elements/cr.htm#ixzz5QOPz41ym>
- Li, Y., Chen, W., Chen, J., Oai, X., Jones, K.C., Zhang, H., 2019. Development of a passive sampling technique for measuring pesticides in waters and soils. *Journal of Agriculture Food Chemistry*, 67(22), 6397–6406.
- Lin, H., Chen, L., Li, H., Luo, Z., Lu, J., Yang, Z., 2018. Pharmaceutically active compounds in the Xiangjiang River, China: distribution pattern, source apportionment, and risk assessment. *Sci. Total Environ.* 636, 975–984.
- Merga, L.B., Mengistie, A.A., Fabe, J.H., Van den Brink, P., 2020. Trends in chemical pollution and ecological status of Lake Ziway, Ethiopia: a review focussing on nutrients, metals and pesticides. *Afr J Aquat Sci*, 45(4), 1–15.
- Madikizela, L.M., Ncube, S., Chimuka, L., 2019. Recent developments in selective materials for solid phase extraction. *Chromatographia*, <https://doi.org/10.1007/s10337-018-3644-8>.

- Millour, S., Noël, L., Kadar, A., Chekri, R., Vastel, C., Guérin, T., 2011. Simultaneous analysis of 21 elements in foodstuffs by ICP-MS after closed-vessel microwave digestion: Method validation. *Journal of Food Composition and Analysis*, 24, 111-120.
- Moustaka-Gouni, M., Sommer, U., Economou-Amilli, A., Arhonditsis, G.B., Katsiapi, M., Papastergiadou, E., Kormas, K.A., Varsaka, E., Karayanni, H., Papadimitriou, T., 2019. Implementation of the Water Framework Directive: Lessons learned and future perspectives for an ecologically meaningful classification based on phytoplankton of the status of Greek lakes, Mediterranean region. *Environmental Manage*, 64(6), 675-688.
- Nagel, T. G., 2009. The QuEChERS method-a new approach in pesticide analysis of soils. *Journal of Horticulture, Forestry and Biotechnology*, 13: 391. https://www.usab-tm.ro/Journal-HFB/romana/Lucrari_2009_paginate/89.pdf
- Niemeyer, J.C., Chelinho, S., Sousa, J.P., 2017. Soil ecotoxicology in Latin America: current research and perspectives. *Environ. Toxicol. Chem.* 36, 1795-1810. <https://doi.org/10.1002/etc.3792>.
- Norela, S., Saidah, M.S., Mahmud, M., 2013. Chemical composition of the haze in Malaysia 2005. *Atmos Environ* 77, 1005-1010.
- Nurmi, J., Pellinen, J., 2011. Multiresidue method for the analysis of emerging contaminants in wastewater by ultraperformance liquid chromatography-time-of-flight mass spectrometry. *J. Chromatogr. A* 1218, 6712-6719.
- Ondoo, K., Kiptoo, J.K., Anam, O., Shivaji, S.M., 2019. Assessment of Anions and Heavy Metals in Sediments from River Sio, Busia County, Kenya. *Chemistry Science International of Journal*, 1-18.
- Pastorino, P., Prearo, M., Bertoli, M., Abete, M.C., Dondo, A., Salvi, G., Zaccaroni, A., Elia, A.C., Pizzul, E., 2020. Accumulation of As, Cd, Pb, and Zn in sediment, chironomids and fish from a high-mountain lake: First insights from the Carnic Alps. *Science Total Environmental*, 10,729, 139007.
- Perin, M., Dallegre, A., Barnett, L.S., Meneghini, L.Z., de Araújo Gomes, A., Pizzolato, T.M., 2021. Pharmaceuticals, pesticides and metals/metalloids in Lake Guaíba in Southern Brazil: Spatial and temporal evaluation and a chemometrics approach. *Science of The Total Environment*, 793, 148561.
- Rowden, A.A., Stephenson, F., Clark, M., Anderson, O.F., Guinotte, J.M., Baird, S.J., Roux, M.J., Wadhwa, S., Cryer, M., Lundquist, C.J., 2019. Examining the utility of a decision-support tool to develop spatial management options for the protection of vulnerable marine ecosystems on the high seas around New Zealand. *Ocean and Coastal Manage*, 170, 1-16.
- Ruiz-Gil, L., Romero-Gonzalez, R., Frenich, A.G., Vidal, J.L.M., 2008. Determination of pesticides in water samples by solid phase extraction and gas chromatography tandem mass spectrometry. *Journal of Separation Science*, 31(1), 151-161.
- Satapathy, S., Panda, C.R., Jena, B.S., 2019. Risk-based prediction of metal toxicity in sediment and impact on human health due to consumption of seafood (*Saccostrea cucullata*) found in two highly industrialised coastal estuarine regions of Eastern India: a food safety issue. *Environmental Geochemistry Health*, 41(5), 1967-1985.
- Sheikh, J.A., Jeelani, G., Gavali, R.S., Shah, R.A., 2014. Weathering and anthropogenic influences on the water and sediment chemistry of Wular Lake, Kashmir Himalaya. *Environmental Earth Science*, <https://doi.org/10.1007/s12665-013-2661-z>.
- Sibal, L.N., Espino, M.P.B., 2018. Heavy metals in lake water: a review on occurrence and analytical determination. *International of Journal Environmental Analytical Chemistry*, <https://doi.org/10.1080/03067319.2018.1481212>
- Şehnaz, Ş., Şener, E., Davraz, A., Varol, S., 2020. Hydrogeological and hydrochemical investigation in the Burdur Saline Lake Basin, southwest Turkey. *Chemie Der erde-Geochemistry*, 80, 1-14.
- Sui, Q., Cao, X., Lu, S., Zhao, W., Qiu, Z., Yu, G., 2015. Occurrence, sources and fate of pharmaceuticals and personal care products in the groundwater: a review. *Emerg. Contam.* 1, 14-24
- Touraj, N. 2015. An index approach to metallic pollution in river waters. *International Journal of Environmental Research*, 9(1), 385-394.
- Tokaloğlu, Ş., Kartal, Ş., 2002. Chemometrical interpretation of lake waters after their chemical analysis by using AAS, flame photometry and titrimetric techniques. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 82(5), 291-305.
- Turhan, Ş., Duran, C., Kurnaz, A., Hançerlioğullu, A., Metin, O., Altıkulaç, A., 2021. Impact of toxic metal pollution on surface water pollution: a case study of Tohma stream in Sivas, Turkey. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 1-11.
- USEPA, 2007b. Method 1699: Pesticides in water, soil, sediment, biosolids, and tissue by HRGC/HRMS: Environmental Protection Agency, Washington, USA EPA-821-R-08-001, 96 pp. https://www.nemi.gov/methods/method_summary/9690 (Date accessed: March 2022).
- Wallace, D.R., Buha Djordjevic, A., 2020. Heavy metal and pesticide exposure: a mixture of potential toxicity and carcinogenicity. *Curr. Opin. Toxicol.* <https://doi.org/10.1016/j.cotox.2020.01.001>.
- Wöhler, L., Niebaum, G., Krol, M., Hoekstra, A.Y., 2020. The grey water footprint of human and veterinary pharmaceuticals. *Water Res.* X 7. <https://doi.org/10.1016/j.wroa.2020.100044>.
- Zhang, X.H., Xu, Y., Bin, He, X.L., Huang, L., Ling, J.Y., Zheng, L., Du, Q.P., 2016. Occurrence of antibiotic resistance genes in landfill leachate treatment plant and its effluent receiving soil and surface water. *Environ. Pollut.* 218, 1255-1261.
- Zhang, Y., Yu, J., Su, Y., Du, Y., Liu, Z., 2019. Long-term changes of water quality in aquaculture-dominated lakes as revealed by sediment geochemical records in Lake Taibai (Eastern China). *Chemosphere*, 235, 297-307.
- Zhou, Q., Yang, N., Li, Y., Ren, B., Ding, X., Bian, H., Yao, X., 2020. Total concentrations and sources of heavy metal pollution in global river and lake water bodies from 1972 to 2017. *Global Ecology Conservation*, 22, e00925.



PAMUKLU TEKSTİL ÜRETİMİNDE SU AYAK İZİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Elif ŞİMŞEK YEŞİL^{1*}, Ayşe DAL², Emrah ÖZTÜRK³, Mehmet KİTİŞ²

¹Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü/Çevre Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

²Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

³Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Aksu Mehmet Süreyya Demiraslan Meslek Yüksekokulu, Çevre Koruma Teknolojileri Bölümü, Isparta, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Mevcut En İyi Teknikler, Pamuklu Kumaş, Su Ayak İzi, Tekstil.</i>	Global ölçekte su kaynakları üzerindeki baskılar giderek artmaktadır. Gelecekte ülkemizin de dâhil olduğu birçok ülkede su kıtlığının yaşanması beklenmektedir. Bu durum tekstil sektörü gibi suyu yoğun kullanarak üretim yapan sektörler için bir endişe kaynağıdır. Su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımını sağlamak için özellikle suyu yoğun kullanan sektörler başta olmak üzere sektörlerin su ayak izi değerlerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu çalışmada pamuklu tekstil üretiminde yaşam döngüsü boyunca su ayak izi değerleri araştırılmıştır. Bu kapsamda hammadde çıkarma (pamuk üretimi, çırçırılama vb.), pamuklu kumaş üretimi, nakliye, tüketici kullanımı ve kullanım ömrü sonunda elden çıkarma aşamaları için su ayak izi değerleri ve yaşam döngüsü boyunca pamuklu kumaş üretimi için toplam su ayak izi değeri literatür araştırmalarıyla belirlenmiştir. Yaşam döngüsü boyunca pamuklu kumaş üretimi için toplam su ayak izi değerleri 4.573-7.583 m ³ /ton aralığında değişim göstermektedir. Toplam su ayak izi değerinin %93-97'lik kısmını pamuk üretimi ve %2-6'lık kısmını da pamuklu kumaş üretimi oluşturmaktadır. Çırçırılama, nakliye ve tüketici kullanımı için toplam su ayak izi oranları %1 ve toplam su ayak izi değeri ise 55 m ³ /ton olarak bulunmuştur. Dolayısıyla pamuk üretimi, üretim prosesleri ve tüketici kullanımı adımlarında verimlilik tedbirleri uygulayarak pamuklu kumaş için su ayak izinin azaltılması sağlanabilir.

EVALUATION OF WATER FOOTPRINT IN COTTON TEXTILE PRODUCTION

Keywords	Abstract
<i>Best Available Techniques, Cotton Fabric, Textile, Water Footprint.</i>	Pressures on water resources are increasing on a global scale. It is expected that there will be water scarcity in many countries, including our country, in the future. This is a concern for industries using water intensively, such as textiles. In order to ensure the sustainable use of water resources, it is necessary to know the water footprint values, especially in the sectors that use water intensively. In this study, water footprint values were investigated throughout the life cycle of cotton textile production. In this context, the water footprint values for (cotton production, ginning) cotton fabric production stage, transportation, consumer use and disposal at the end of life, and the total water footprint value for cotton fabric production throughout the life cycle were determined by literature research. The total water footprint values for cotton fabric production throughout its life cycle vary between 4,573 and 7,583 m ³ /ton. For the total water footprint value, 93-97% is associated with cotton production and 2-6% is from cotton fabric production. Total water footprint rate for ginning, transportation and consumer use was found to be 1% and the total water footprint value was found to be 55 m ³ /ton. Therefore, water footprint reduction for cotton fabric can be achieved by applying efficiency measures in cotton production, production processes and consumer use steps.

Alıntı / Cite

Şimşek Yeşil, E., Dal A., Öztürk E., Kitiş M. (2023). Pamuklu Tekstil Üretiminde Su Ayak İzinin Değerlendirilmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(3), 1167-1173.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

E. Şimşek Yeşil, 0000-0002-7884-8912

A. Dal, 0000-0002-5389-1914

E. Öztürk, 0000-0001-6421-6474

M. Kitiş, 0000-0002-6836-3129

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date

03.04.2023

Revizyon Tarihi / Revision Date

28.07.2023

Kabul Tarihi / Accepted Date

28.07.2023

Yayın Tarihi / Published Date

28.09.2023

* İlgili yazar / Corresponding author: elifsimsekbursa@gmail.com , +90-246-341-2363

EVALUATION OF WATER FOOTPRINT IN COTTON TEXTILE PRODUCTION

Elif ŞİMSEK YEŞİL^{1†}, Ayşe DAL², Emrah ÖZTÜRK³, Mehmet KITIŞ²

¹ Department of Geological Engineering/Department of Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Suleyman Demirel University, Isparta, Turkey

² Department of Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Suleyman Demirel University, Isparta, Turkey

³ Department of Environmental Protection Technologies, Aksu Mehmet Sureyya Demiraslan Vocational School, Isparta University of Applied Sciences, Isparta, Turkey

Highlights

- Water footprint values were investigated throughout the life cycle of cotton textile production.
- Total water footprint values for cotton fabric production throughout its life cycle vary between 4,573 and 7,583 m³/ton.
- For the total water footprint value, 93-97%: cotton production and 2-6%: cotton fabric production.
- Total water footprint rates for ginning, transportation and consumer use were found to be 1% and the total water footprint value was found to be 55 m³/ton.

Purpose and Scope

The main purpose of this study was to determine the water footprint for cotton fabric production throughout its life cycle and to offer best water control and reduction measures.

Design/methodology/approach

In this study, the water footprint of cotton textile production was investigated. It consists of 5 stages: raw material extraction, cotton fabric production stage, transportation, consumer use, and end-of-life disposal. Blue, green and gray water footprints that may occur at these stages were examined. In addition, the total water footprint value of the cotton textile product throughout its life cycle was calculated and measures to be taken to reduce the water footprint were presented.

Findings

Water footprint values for cotton production vary between 4,426 and 7,066 m³/ton. The blue water footprint for ginning is specified as 40 m³/ton. In line with this data, 40 m³/ton was taken as the total water footprint value during the ginning phase. Water footprint values vary between 91.76 and 462 m³/ton at the cotton fabric production stage. Water footprint values were found to be 0.004 m³/ton and 15 m³/ton, respectively, during the transportation and consumer use phases. Only average values of the literature data were included during the ginning, transportation and consumer use stages. Total water footprint values in cotton textile production vary between 4,573 and 7,583 m³/ton throughout its life cycle.

Originality

The total water footprint value obtained from this study for cotton fabric production will make a significant contribution to researchers, industries and decision-makers. In addition, reducing total water footprint, which covers the processes from raw material production to disposal of a textile product, will create awareness in other studies and full-scale applications.

[†] Corresponding author: elifsimsekbursa@gmail.com, +90-246-341-2363

1. Giriş (Introduction)

Dünyadaki toplam su varlığı yaklaşık 1.4 milyar km³ olup (Kara ve Gürel, 2013) sanayi için su kullanımı ortalama %20 oranındadır (Çapar ve Yetiş, 2018). Türkiye İstatistik Kurumu'nun (TÜİK) 2018 yılı verilerine göre Türkiye'de sanayi ve içme-kullanma su kullanım oranı ise ortalama %23 seviyesindedir (TOB, 2021). Bu oranın 2030 yılında artış göstermesi beklenmektedir (Çapar ve Yetiş, 2018). 2010'ların başlarından ortasına kadar 1,9 milyar insan potansiyel olarak ciddi şekilde su kıtlığı olan bölgelerde yaşamıştır. 2050' de bu sayı 2,7-3,2 milyar kişi olarak artış göstermesi beklenmektedir (Boretti ve Rosa, 2019). Endüstriyel su tüketimindeki beklenen artışın, iklim değişikliğinin su kaynaklarına olan etkisi ve diğer baskılar nedeniyle yakın gelecekte ülkemiz için ciddi bir sorun olabileceği öngörülmektedir (Çapar ve Yetiş, 2018). Bununla birlikte su kaynaklarının miktar olarak azalması sonucu suyu yoğun tüketen imalat sektörlerinin etkileneceği de düşünülmektedir. Bu sektörler arasında kaybedilen su miktarının en yüksek olduğu ilk üç sektör; gıda ürünleri imalatı, tekstil ürünleri imalatı ve metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı olarak öne çıkmaktadır (Çapar ve Yetiş, 2018).

İklim değişikliği ve su krizinden olumsuz yönde etkilenecek sektörlerin başında tekstil sektörü gelmektedir (Çapar ve Yetiş, 2018). Tekstil sektöründe pamuk üretimi aşamasında su yoğun olarak kullanılmaktadır. Türkiye'nin pamuk üretimi için ton başına toplam su ayak izi değeri 6.836 m³ olarak bulunmuştur (Mekonnen ve Hoekstra, 2010). Sadece bu aşamada değil pamuklu kumaş üretimi aşamasında da suya diğer aşamalara göre daha çok ihtiyaç duyulmaktadır. Türkiye'de tekstil sektöründe tipik su tüketimi 70-350 m³/ton aralığında değişmektedir (Ozturk vd., 2016). Bir diğer çalışmada ise pamuklu kumaş boyama ve terbiyesinde spesifik su tüketim değeri 80-200 m³/ton olarak belirtilmiştir (Raja vd., 2019). Gelecekte su kaynaklarında miktarsal azalmalar olduğu takdirde su kıtlığı meydana gelecektir. Bu durumda tekstil üretimi gibi yoğun su tüketen sektörlerde su verimliliğini esas alan uygulamaların hayata geçirilmesi önem taşımaktadır. Bunun için su ayak izinin yaşam döngüsü boyunca bilinmesi faydalı olacaktır. Böylelikle su ve atıksu, suyla ilişkili enerji maliyetlerinin azaltılması, daha düşük çevresel etki ve firma imajının iyileştirilmesi gibi birçok konuda fayda sağlayacaktır.

Bu çalışmada, pamuklu tekstil ürünlerinin yaşam döngüsü boyunca su ayak izi değerleri araştırılmış ve su ayak izinin azaltılmasına yönelik tedbirler sunulmuştur. Pamuk üretimi, çırçırılama, pamuklu kumaş üretimi, nakliye, tüketici kullanımı ve kullanım ömrü sonunda elden çıkarma gibi aşamaların su ayak izi incelenmiştir. Bu çalışmanın ana amacı, yaşam döngüsü boyunca pamuklu kumaş üretimi için su ayak izini belirlemek ve su kullanımının en iyi şekilde azaltılmasını sağlayacak tedbirleri sunmaktır. Bu çalışma sonucunda elde edilen toplam su ayak izi değeri bu konuda çalışan araştırmacılara önemli katkılar sağlayacaktır. Ayrıca bir tekstil ürününün ham madde üretiminden bertarafına kadar olan sürecini kapsayan toplam su ayak izi verilerinin tedbirler sonucunda azaltılması diğer çalışmalar ve uygulamalar için de bir farkındalık oluşturacaktır.

2. Su Ayak İzi (Water Footprint)

Su ayak izi; bir ürünün üretiminde kullanılan su miktarını veya bireyin kullandığı su miktarını ifade eden bir kavramdır (WFN, 2019). Ayrıca bireyin ya da ürünün dolaylı su tüketimini de hesaplamaktadır (Hoekstra vd., 2011). Su ayak izi; mavi, yeşil ve gri su ayak izi olarak bilinen öğelerden oluşmaktadır. Mavi su ayak izi, yüzey sularından (göller, nehirler, rezervuarlar) ve yeraltı suyundan (akiferler) çekilen tatlı su hacmidir (McLellan vd., 2014). Mavi su ayak izinde kullanılan suyun geri döngüsü olmamaktadır (Hoekstra vd., 2011). Yeşil su ayak izi, geçici olarak toprak veya bitki örtüsü üzerinde kalan yağmur suyunun tüketimini ifade etmektedir (Franke ve Mathews, 2013). Gri su ayak izi ise kirleticileri kabul edilebilir su kalitesi seviyesine ulaştırmak için seyreltmede kullanılan su hacmi olarak tanımlanabilir (Hoekstra vd., 2011).

3. Pamuklu Tekstil Üretiminde Su Ayak İzi (Water Footprint in Cotton Textile Production)

Bu çalışmada pamuklu tekstil üretiminin su ayak izi araştırılmıştır. Pamuklu tekstil üretimi hammadde çıkarma, pamuklu kumaş üretim aşaması, nakliye, tüketici kullanımı ve kullanım ömrü sonunda elden çıkarma olmak üzere 5 aşamadan oluşmaktadır (Tablo 1). Her bir aşamada oluşabilecek mavi, yeşil ve gri su ayak izleri incelenmiştir (Şekil 1). Ayrıca pamuklu tekstil ürününün yaşam döngüsü boyunca toplam su ayak izi değeri hesaplanmış ve su ayak izinin azaltılmasına yönelik önlemler sunulmuştur.

Tablo 1. Pamuklu kumaş için yaşam döngüsü adımları (Life cycle steps for cotton fabric) (Luo vd., 2022)

Pamuklu Kumaş İçin Yaşam Döngüsü Adımları	İşlem
Hammadde çıkarma	Pamuk üretimi
	Çırcır
	İplik üretimi
Pamuklu kumaş üretim	Dokuma
	Apre
	Giysi imalatı
	Kot yıkama
Nakliye	Hammadde taşımacılığı
	İplik taşımacılığı
	Kumaş taşımacılığı
Tüketici kullanımı	Yıkama
	Kurutma
	Ütüleme
Kullanım ömrü sonunda elden çıkarma	Ger dönüşüm
	Atık bertarafı



*Terbiye-boyama işlemlerinde su tüketimi mevcuttur.

Şekil 1. Pamuklu kumaş yaşam döngüsü basamakları ve su kullanım noktaları (Cotton fabric life cycle steps and water usage points)

3.1. Hammadde Çıkarma Aşamasında Su Ayak İzi (Water Footprint in Raw Material Extraction)

3.1.1. Pamuk Üretimi Aşamasında Su Ayak İzi (Water Footprint During Cotton Production)

Pamuk üretiminde önde gelen ülkelerden biri olan Özbekistan'ın pamuk üretimi için mavi su ayak izi değeri 4.171 m³/ton olarak hesaplanmıştır (Aldaya vd., 2010). Türkmenistan'ın pamuk üretimi için mavi su ayak izi değeri ise 6.875 m³/ton olarak bulunmuştur (Aldaya vd., 2010). İspanya'da pamuk üretimi için mavi su ayak izi değeri 4.380 m³/ton olarak hesaplanmıştır (Chico vd., 2013). Türkiye'nin pamuk üretimi için mavi su ayak izi değeri ise 5.271 m³/ton olarak hesaplanmıştır (Mekonnen ve Hoekstra, 2010). Buna göre global ölçekte pamuk üretiminde mavi su ayak izi değerleri 4.171-6.875 m³/ton arasında değişmektedir.

Özbekistan'ın pamuk üretimi için yeşil su ayak izi değeri 255 m³/ton olarak hesaplanmıştır (Aldaya vd., 2010). Türkmenistan'ın pamuk üretimi için yeşil su ayak izi değeri 191 m³/ton olarak bulunmuştur (Aldaya vd., 2010). İspanya'da pamuk üretimi için yeşil su ayak izi değeri 422 m³/ton olarak hesaplanmıştır (Chico vd., 2013). Türkiye'nin pamuk üretimi için yeşil su ayak izi değeri 1.076 m³/ton olarak hesaplanmıştır (Mekonnen ve Hoekstra, 2010). Buna göre global ölçekte pamuk üretiminde yeşil su ayak izi değerleri 191-1.076 m³/ton arasında değişmektedir.

İspanya'da pamuk üretimi için gri su ayak izi değeri 326 m³/ton olarak hesaplanmıştır (Chico vd., 2013). Türkiye'nin pamuk üretimi için gri su ayak izi değeri 490 m³/ton olarak bulunmuştur (Mekonnen ve Hoekstra, 2010). Buna göre global ölçekte pamuk üretiminde gri su ayak izi değerleri 326-490 m³/ton arasında değişmektedir. Pamuk üretimi aşamasında Tablo 2'de belirtilen çalışmalara göre mavi, yeşil ve gri toplam su ayak izi değerleri 4.426-7.066 m³/ton arasında değişiklik göstermektedir.

Tablo 2. Ülkeler bazında pamuk üretimi aşaması su ayak izi (Water footprint of cotton production stage for various countries)

Ülkeler	Mavi su ayak izi (m ³ /ton)	Yeşil su ayak izi (m ³ /ton)	Gri su ayak izi (m ³ /ton)	Toplam (m ³ /ton)	Referanslar
Türkmenistan	6.875	191	-1	7.066	Aldaya vd., 2010
Özbekistan	4.171	255	-1	4.426	Aldaya vd., 2010
Türkiye	5.271	1.076	490	6.837	Mekonnen ve Hoekstra, 2010
İspanya	4.380	422	326	5.128	Chico vd., 2013

¹Veri mevcut değildir.

Pamuk üretimi aşamasında diğer aşamalara göre daha yüksek oranda su ayak izi bulunmaktadır. Su tasarrufu sağlamak ve su ayak izinin azaltılmasında belirli teknikler kullanılabilir. Tarımsal sulama yöntemleri, yüzey sulama, basınçlı sulama ve yüzey altı sulama şeklinde sınıflandırılmaktadır (Çetin vd., 2010). Su tasarrufu için daha verimli tarımsal sulama faaliyetlerinin yaygınlaştırılması etkili olabilir. Pamuk üretiminde kullanılan pestisit ve kimyasalların azaltılması ve buna bağlı olarak gri su ayak izinin ortadan kaldırılması sonucunda toplam su ayak izi %1 oranında azaltılabilir (URS, 2012).

3.1.2. Çırcırlama Aşamasında Su Ayak İzi (Water Footprint in Ginning)

Çırcırlama işleminde pamuk tiftiği pamuk tohumundan ayrılmaktadır. Çırcırlama işlemi ısıtıcı, ayırıcı, doldurma kontrolü, nem giderme/ilavesi, taşıyıcı, klima/dağıtıcı, çırcır standı ve balya presinden oluşmaktadır (Abuhay vd., 2021). Çırcırlama aşamasında su ayak izi hesaplamak için kuru pamuğun nemlendirilmesinde kullanılan su hesaplamaya dâhil edilmektedir. Bunun amacı yangın riskini önlemek ve endüstriyel aşamaları kolaylaştırmaktır. İspanya'da çırcırlama aşaması için mavi su ayak izi değeri 40 m³/ton olarak bulunmuştur (Chico vd., 2013).

3.2. Pamuklu Kumaş Üretim Aşamasında Su Ayak İzi (Water Footprint in Industrial Production)

İspanya'da pamuklu kumaş üretiminin mavi su ayak izi değeri 91,76 m³/ton olarak bulunmuştur (Chico vd, 2013). İngiltere'nin pamuklu kumaş üretimi mavi su ayak izi ve gri su ayak izi değeri sırasıyla 57,4 m³/ton ve 404,2 m³/ton olarak bulunmuştur. İngiltere'nin toplam pamuklu kumaş üretimi toplam su ayak izi değeri 462 m³/ton olarak hesaplanmıştır (URS, 2012). Türkiye'de proses bazlı mavi su ayak izi değeri 118 m³/ton olarak bulunmuştur (Dal, 2020). Pamuklu kumaş üretimi aşamasında haşıl sökme, merserizasyon, ağartma, boyama, baskı ve apre prosesleri için mavi su ayak izi değerleri sırasıyla 1-22,2 m³/ton, 1-61 m³/ton, 1-93,2 m³/ton, 0,4-330 m³/ton, 13-394 m³/ton ve 0,03-148 m³/ton'dur (IPPC BREF, 2023). Diğer çalışmalarda ise pamuklu dokuma kumaş terbiye ve boyama/baskı prosesleri için mavi su ayak izi değeri 80-86 m³/ton olarak hesaplanmıştır (Demirel, 2019). Pamuklu kumaş boyama ve terbiyesinde mavi su ayak izi değeri 80-200 m³/ton olarak değişiklik göstermektedir (Raja vd., 2019). Buna göre global ölçekte pamuklu kumaş üretiminde su ayak izi değerleri 91,76-462 m³/ton arasında değişmektedir.

Pamuklu kumaş üretiminde su ayak izi değerleri çok değişken olmaktadır. Dolayısıyla su tüketimini azaltmak için temiz üretim teknikleri uygulanmalıdır. Temiz üretim kavramı, endüstrilerde kaynak hattından ürün hattına kadar olan kısımda bütüncül ve ortaya çıkan sorunları önleyici bir yaklaşıma sahiptir. Temiz üretim tekniklerinin uygulanması için Avrupa Birliği (AB) Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrolü (IPPC) bürosu tarafından 'Mevcut En İyi Teknikler (MET/BAT) Sektörel Referans Dokümanları (BREF)' hazırlanmıştır. Tekstil sektörüne özgü "Tekstil Sektöründe Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrolü Tebliği (TSEKÖKT)" ve IPPC Tekstil BREF dokümanları bulunmaktadır. Belirtilen dokümanlar içerisinde pamuklu kumaş üretimine dair MET'ler yer almaktadır. Ayrıca literatürde ve sahada pamuklu kumaş üretimine dair iyi uygulama örnekleri de bulunmaktadır. Pamuklu kumaş üretiminde uygun tekniklerin/MET'lerin uygulanmasıyla su tasarrufu sağlanabilmektedir.

Su tasarrufu sağlamak için yönetimsel tedbirler (çevre yönetim sistemi, izleme-kontrol, otomasyon vb.), su verimliliği yüksek teknolojiler ve ekipmanlar kullanılmalı, uygun atıksu akımlarının geri kullanımı ve alternatif su kaynaklarının kullanılması sağlanmalı ve son olarak da proses modifikasyonları uygulanmalıdır. Tekstil endüstrisinde belirlenen atıksuların doğrudan yeniden kullanımıyla %16-25 oranında su tüketiminin azaltılabileceği sonucuna varılmıştır (Oztürk ve Cinperi, 2018). Tekstil endüstrisinde yıkama ve durulama sularının arıtılmadan geri kullanımıyla %30-70 oranında su tasarrufu sağlanabilmektedir (USEPA, 2008; LCPC, 2010). Tekstil işletmesinde uygun atıksu akımlarının arıtılarak uygun proseslerde tekrar kullanılması tekniği ile %29-55 oranında su tüketiminde azalma sağlanabileceği ifade edilmiştir (Öztürk, 2014). Durulama suyunun arıtılmadan mümkün olan proseslerde kullanılması tekniği uygulanarak %6-21 oranında su tasarrufu sağlanabileceği belirtilmiştir (Demirel, 2019).

3.3. Nakliye Aşamasında Su Ayak İzi (Water Footprint in Shipping)

Nakliye aşaması hammadde taşımacılığı, iplik taşımacılığı ve kumaş taşımacılığı olmak üzere 3 adımda gerçekleşmektedir. Böylelikle su ayak izi sonuçları aşamalara ve yakıt türüne göre farklılık göstermektedir (Luo vd., 2022). İngiltere’de nakliye için mavi su ayak izi değeri 0,004 m³/ton olarak bulunmuştur (URS, 2012).

3.4. Tüketici Kullanımı Aşamasında Su Ayak İzi (Water Footprint for Consumer Use)

Tekstil kullanımında tüketici davranışına bağlı olarak çok fazla su tüketilebilir. Giysi ütülemede minimum su tüketimi olduğundan kullanıcı su ayak izine dâhil edilmemiştir. İngiltere’de tüm giysiler için yıkama sayısı aynı kabul edilmiştir. İngiltere’nin pamuklu tekstil ürünü kullanıcı mavi su ayak izi 15 m³/ton olarak bulunmuştur. Başka bir bilimsel çalışmada diğer hammaddelerden elde edilen ürünün kullanıcı mavi su ayak izi 14,5 m³/ton’dur (URS, 2012). Su ayak izini azaltmak için gerekli tedbirler uygulanarak tasarruf sağlanabilir. Ürün ömrünün uzatılması, liflerin dayanıklılığının artırılması, tüketici davranışlarının hızlı ve tek kullanımlık modadan uzaklaştırılması sonucunda %10-33 aralığında tasarruf sağlanabilmektedir (URS, 2012). Giysilerin yıkama gereksinimlerinin azaltılması ve daha az kimyasal ürünlerin kullanımı sonucu yılda %10-15 oranında yıkamalarda azaltım sağlanabilir (URS, 2012).

3.5. Kullanım Ömrü Sonunda Elden Çıkarma Aşamasında Su Ayak İzi (Water Footprint at End-of-Life Disposal)

Çekya’da yürütülen çalışmada tekstil atığının bertarafı çöp kutusuna atılması, evdeki katı yakıtlı kazanda yakılması, tekstil toplama kabına atılması, aileye veya arkadaşaya verilmesi şeklinde gerçekleştirilmektedir. Ayrıca başka bertaraf yöntemleri olarak da ikinci el eşya olarak kullanım, doğrudan hayır kurumuna bağış yapma ve doğrudan atık toplama alanına götürülme yöntemleri ile bertarafının yapılabileceği ortaya konulmuştur (Nenckova vd., 2020). Diğer bir çalışmada tekstil atığının bağışlama, yeniden kullanım, geri dönüşüm veya yakma için toplandığı belirtilmiştir. Bu çalışmada tekstil atığının yakılarak bertaraf edildiği kabul edilmiştir. Yakılarak bertaraf edilen ürünün su ayak izi 0,0006 m³ olarak bulunmuştur (Muthukumar, 2020).

4. Pamuklu Kumaşın Toplam Su Ayak İzi (Total Water Footprint of Cotton Fabric)

Literatürde yer alan çalışmalar dikkate alınarak ülkeler bazında belirtilmiş veriler toplanarak minimum ve maksimum değerler elde edilmiştir. Pamuk üretimi için toplam (mavi-yeşil-gri) su ayak izi değerleri 4.426-7.066 m³/ton arasında değişiklik göstermektedir. Çırcırlama için mavi su ayak izi değeri 40 m³/ton olarak belirtilmiştir. Bu veri doğrultusunda çırcırlama aşamasında toplam su ayak izi değeri olarak 40 m³/ton esas alınmıştır. Pamuklu kumaş üretimi aşamasında su ayak izi değerleri 91,76-462 m³/ton arasında değişim göstermektedir. Nakliye ve tüketici kullanımı aşamasında su ayak izi değerleri sırasıyla 0,004 m³/ton ve 15 m³/ton olarak bulunmuştur. Çırcırlama, nakliye ve tüketici kullanımı aşamalarında literatürden edinilen bilgi dahilinde sadece ortalama değerlere yer verilmiştir. Pamuklu tekstil üretiminde yaşam döngüsü boyunca toplam su ayak izi değerleri 4.573-7.583 m³/ton arasında değişiklik göstermektedir.

5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Bu çalışma kapsamında pamuklu tekstil ürününün yaşam döngüsü boyunca oluşabilecek su ayak izi araştırılmıştır. Farklı aşamalarda oluşan su ayak izi değerleri literatürden elde edilmiştir. Ancak tekstil ürününün yaşam döngüsü boyunca su ayak izi çalışması literatürde nadir bulunmaktadır. Bu çalışmada ülke bazlı hammadde çıkarma, üretim prosesleri, nakliye, tüketici kullanımı ve kullanım ömrü sonunda elden çıkarma aşamaları için su ayak izi araştırılmıştır. Araştırmalar sonucunda Türkiye verilerinin diğer ülkelerin verileri ile benzerlik gösterdiği tespit edilmiştir. Yaşam döngüsü boyunca pamuklu kumaş üretimi için toplam su ayak izi değerleri 4.573-7.583 m³/ton aralığında değişim göstermektedir. Toplam su ayak izi değerinin %93-97’lik kısmı pamuk üretimi ve %2-6’lık kısmı pamuklu kumaş üretiminden oluşmaktadır. Çırcırlama, nakliye ve kullanıcı için toplam su ayak izi oranı ise %1’dir. Literatürde yer alan çalışmalardaki su ayak izi miktarı, uygulamada elde ettiğimiz sonuçtan fazla olabilmektedir. Bunun sebebi pamuk üretiminde sulama yönteminin ve tüketilen yağmur suyu miktarının farklılık göstermesi olabilir. Pamuk üretim miktarında; ekili alan ve tesis üretim miktarı verileri farklı olabileceğinden toplam su ayak izinde farklı sonuçlar elde edilebilir. Bu çalışma sonucunda pamuk üretiminde su kullanımının azaltılması gerektiği sonucuna varılmıştır. Su ayak izini azaltmak ve su tasarrufu sağlamak adına teknikler/MET’ler kullanılabilir. Pamuk üretimi ve üretim prosesleri aşamasında önerilen tekniklerin/MET’lerin kullanımı sonucunda belirli oranlarda su tasarrufu sağlanacaktır. Diğer bilimsel çalışmalarda pamuk üretiminde, sulamada iyileştirmeye yönelik konulara yer verilebilir. Gelecekte, gerçek ölçekli uygulamalarda, tekstil hammaddelerinin yetiştirilmesi/üretiminden son ürünün bertarafına kadar (beşikten-mezara) farklı lif türleri için su ayak izinin hesaplandığı bilimsel çalışmalar yapılabilir.

Teşekkür (Acknowledgement)

Yazar Elif ŞİMŞEK, Yükseköğretim Kurulu (YÖK) 100/2000 Doktora Programı ve TÜBİTAK 2211/A Yurtiçi Genel Doktora Burs Programı kapsamında “Sürdürülebilir Su Kaynakları” tematik alanında doktora bursiyeridir. Bu çalışma, Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (SDÜ BAP, Proje No: FDK-2022-8638) ve YÖK 100/2000 Doktora Programı tarafından finansal olarak desteklenmiştir. Yazarlar, SDÜ BAP Birimi, YÖK ve TÜBİTAK’a destekleri için 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)

- Abuhay, A., Mengie, W., Tesfaye, T., Gebino, G., Ayele, M., Haile, A., Yillie, D., 2021. Opportunities for new biorefinery products from Ethiopian ginning industry by-products: Current status and prospects. *Journal of Bioresources and Bioproducts*, 6(3), 195-214. <https://doi.org/10.1016/j.jobab.2021.04.001>
- Aldaya, M.M., Hoekstra, A.Y., 2010. Water Footprint of Cotton, Wheat and Rice Production in Central Asia. Value of Water Research Report 41. UNESCO-IHE Institute for Water Education, Delft.
- Boretti, A., Rosa, L., 2019. Reassessing the projections of the world water development report. *NPJ Clean Water*, 2(1), 15. <https://doi.org/10.1038/s41545-019-0039-9>
- Chico, D., Aldaya, M. M., Garrido, A., 2013. A water footprint assessment of a pair of jeans: the influence of agricultural policies on the sustainability of consumer products. *Journal of Cleaner Production*, 57, 238-248. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.06.001>
- Çapar, G., Yetiş, Ü., 2018. Sanayide Su Verimliliğinin Ülkemizdeki Durumu. *Anahtar dergisi*.
- Çetin, Ö., Eylen, M., Sönmez, F. K., 2010. Basınçlı sulama sistemlerinin su kaynaklarının etkin kullanımındaki rolü ve mali desteklerin bu sistemlerin yaygınlaşmasındaki etkisi. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, 53-57. ISSN: 1308-3945
- Dal, A., 2020. Entegre bir tekstil baskı-boyama işletmesinde su ve karbon ayak izlerinin belirlenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 76s, Isparta.
- Demirel, Y. E., 2019. Entegre Bir Tekstil İşletmesinde Temiz Üretim Uygulamaları, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 211s, Isparta.
- Franke, N., Mathews, R., 2013. C&A's water footprint strategy: cotton clothing supply chain. Water Footprint Network, Enschede, Netherlands & C&A Foundation, Zug, Switzerland.
- Hoekstra, A. Y., Chapagin A. K., Aldaya M. M., Mekonnen M. M., 2011. The Water Footprint Assessment Manual. Earthscan, Washington, 206.
- IPPC BREF, 2023. European Commission (EC) Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Reference Document on Best Available Techniques for the Textile Industry. EC IPPC Bureau, Seville, Spain, 747s.
- Kara, T., Gürel, C., 2013. Farklı su derinliklerinin çeltik verimine etkisi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 28(2), 82-86. <https://doi.org/10.7161/anajas.2013.282.82>
- Lebanese Cleaner Production Center (LCPC), 2010. Cleaner Production Guide for Textile Industries. Lebanese Cleaner Production Center Cleaner Production, Beirut, 75s.
- Luo, Y., Wu, X., Ding, X., 2022. Carbon and water footprints assessment of cotton jeans using the method based on modularity: A full life cycle perspective. *Journal of Cleaner Production*, 332, 130042. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.130042>
- McLellan, R., Iyengar, L., Jeffries, B., Oerlemans, N., 2014. Living planet report 2014: species and spaces, people and places. WWF International. ISBN: 978-2-940443-87-1
- Mekonnen, M. M., Hoekstra, A. Y., 2010. A global and high-resolution assessment of the green, blue and grey water footprint of wheat. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 14, 12590-1276. doi:10.5194/hess-14-1259
- Muthukumar, R., 2020. LCA Based Water Footprint Assessment for a White Shirt.
- Nenckova, L., Pecáková, I., Šauer, P., 2020. Disposal behaviour of Czech consumers towards textile products. *Waste Management*, 106, 71-76. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.03.001>
- Ozturk, E., Cinperi, N. C., 2018. Water Efficiency and Wastewater Reduction in an integrated Woolen Textile Mill. *Journal of Cleaner Production*, 201, 686-696. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.021>
- Ozturk, E., Koseoglu, H., Karaboyacı, M., Yigit, N. O., Yetis, U., Kitis, M., 2016. Minimization of water and chemical use in a cotton/polyester fabric dyeing textile mill. *Journal of cleaner production*, 130, 92-102. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.01.080>
- Öztürk, E., 2014. Tekstil Sektöründe Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrolü ve Temiz Üretim Uygulamaları, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 484s, Isparta.
- Raja, A.S.M., Arputharaj, A., Saxena, S., Patil, P.G., 2019. Water Requirement and Sustainability of Textile Processing Industries. Muthu, S.S. (Ed.), *Water in Textiles and Fashion Consumption, Footprint, and Life Cycle Assessment (155-173)*, Woodhead Publishing, 214s. ISBN: 978-0-08-102633-5
- Tarım ve Orman Bakanlığı (TOB), 2021. Erişim Tarihi: 08.01.2023 Su Verimliliği Grubu Çalışma Belgesi. https://cdn.niys.tarimorman.gov.tr/api/File/GetFile/467/Sayfa/1497/1861/DosyaGaleri/su_verimliliği_grubu_calisma_belgesi.pdf
- United States Environmental Protection Agency (USEPA), 2008. U.S. Environmental Protection Agency (EPA) 2008 Report on the Environment (ROE). <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/9043>.
- URS, 2012. Review of Data on Embodied Water in Clothing Summary Report. Rapor No: 49352469, 55s.
- Water Footprint Network (WFN), 2019. Erişim Tarihi: 08.10.2019. What is Water Footprint Assessment. <http://https://www.waterfootprint.org/water-footprint-2/what-is-a-water-footprint/>.



ÇELİK MALZEME SATIN ALMA SÜREÇLERİNDE VERİ MADENCİLİĞİ VE MAKİNE ÖĞRENMESİ UYGULAMALARI

Seray MİRASÇI^{1*}, Aslı AKSOY²

¹ LUT University, School of Business and Management, Lappeenranta, Finland

² Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği, Bursa, Türkiye

Anahtar Kelimeler

*Veri Madenciliği,
Makine Öğrenmesi,
Stratejik Satın Alma,
Kümeleme Analizi.*

Öz

Firmaların varlıklarını sürdürebilmeleri için, belli karlılık hedeflerini tutturmaları gerekmektedir. Firmalarda karlılık hedeflerine doğrudan etki eden faaliyetlerden biri de satın almadır. Değişen dünya koşullarında satın alma süreçlerinin kritik malzeme grupları için çevik ve stratejik olması gerekmektedir. Çelik malzeme ürün grubunda stratejik satın alma kararlarının verilmesi ve karlılığın artırılması için veri madenciliği ve makine öğrenmesi yöntemleri ortaya konmuştur. Veri seti içerisinde tüketim, genişlik, uzunluk, kesim tipi, kalınlık, kalite ve ürün grubu gibi özellikler bulunmaktadır. Veri setinde bulunan gürültülü veriler tespit edilerek veri madenciliği teknikleri ile temizlenmiştir. Temizlenen veri seti makine öğrenmesi tekniklerinden kümeleme analizlerinden hiyerarşik kümeleme ve K-ortalama yöntemleri kullanılarak analiz edilmiştir. Bu analizde ideal küme sayısı ve bulunan ideal küme sayısının doğrulaması yapılmış olup stratejik açıdan en önemli proje ortaya konmuştur. Seçilen projede yer alan malzeme detayları teknik olarak incelenip, tüketim, kalınlık ve çelik malzemenin haddeleme tipi dikkate alınarak karlılık getirmesi beklenen satın alma stratejileri ortaya konmuştur. Bu çalışma, çelik malzeme ürün grubunda odaklanılan konu ve sektöre özgü bir perspektif sunmaktadır. Veri madenciliği tekniklerinin kullanıldığı ve makine öğrenmesi teknikleriyle veri setindeki ilişkilerin belirlendiği bu çalışma, satın alma kararlarının stratejik boyutunu vurgulayan özgün bir niteliğe sahiptir. Bu çalışmada önerilen analizler ile satın alma süreçlerinde, çalışan kaynaklı hataların satın alma stratejileri geliştirme süreçlerindeki etkileri azaltılmış, satın alma çalışanlarının uzun zaman harcayarak yapacağı analizler, veri analizi ve makine öğrenmesi gibi yöntemler ile gerçekleştirilmiştir.

DATA MINING AND MACHINE LEARNING APPLICATIONS IN STEEL MATERIALS PURCHASING

Keywords

*Data Mining,
Machine Learning,
Strategic Purchasing,
Clustering Analyses.*

Abstract

Companies have to meet certain profitability targets to ensure their survival. Purchasing is one of the key activities that directly affect company profitability. Purchasing processes for critical material groups need to be agile and strategic in a changing world. This study presents data mining and machine learning methods for making strategic purchasing decisions and increasing profitability in the steel materials product group. The dataset used in the study includes steel materials features such as consumption, width, length, cut type, thickness, quality and product group. Data mining techniques were used to identify and clean up noisy data in the dataset. Hierarchical clustering and K-means clustering methods were used to analyze the cleaned data set. The cleaned dataset was analyzed using hierarchical clustering and k-means clustering methods and the ideal number of clusters was determined and validated to identify the most strategically important project. The material details of the selected project have been technically analyzed and the purchasing strategies that are expected to bring profitability have been proposed, considering the consumption, thickness and rolling type of the steel material. This study provides an industry-specific perspective on the focused topic and sector in the steel materials product group. By using data mining and machine learning techniques to identify relationships in the steel materials product dataset, the study

provides a different perspective that emphasizes the strategic dimension of purchasing decisions. The analyses proposed in this study have reduced the impact of human error in purchasing processes on the development of purchasing strategies, and time-consuming analysis that would normally be carried out by purchasing staff has been replaced by methods such as data mining and machine learning.

Alıntı / Cite

Mirasçı, S., Aksoy, A. (2023). Çelik Malzeme Satın Alma Süreçlerinde Veri Madenciliği ve Makine Öğrenmesi Uygulamaları, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(3), 1174-1189.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

S. Mirasçı, 0000-0003-4654-6474
A. Aksoy, 0000-0002-2971-2701

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	20.12.2022
Revizyon Tarihi / Revision Date	05.07.2023
Kabul Tarihi / Accepted Date	03.08.2023
Yayın Tarihi / Published Date	28.09.2023

*İlgili Yazar / Corresponding author: seraymir@hotmail.com, +905343640918

DATA MINING AND MACHINE LEARNING APPLICATIONS IN STEEL MATERIALS PURCHASING

Seray MİRASÇI^{1*}, Aslı AKSOY²

¹LUT University, School of Business and Management, Lappeenranta, Finland

²Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği, Bursa, Türkiye

Highlights

- This study used data mining and machine learning methods to make strategic purchasing decisions and increase profitability in the steel materials product group.
- The study analyzed a dataset of steel materials characteristics using hierarchical clustering and k-means clustering methods to identify the most strategically important project.
- A technical analysis of the material details of the selected project was carried out in order to propose purchasing strategies that were likely to provide profitability.
- This study reduces the impact of human error in the purchasing process by using data mining and machine learning techniques, and replaces time-consuming analysis typically performed by the buyer with methods such as data mining and machine learning, providing a strategic perspective on purchasing decisions in the steel materials industry.

The paper aims to use data mining and machine learning techniques to make strategic purchasing decisions and increase profitability in the steel materials product group, by analyzing a dataset, applying clustering methods, performing technical analysis, and proposing profitable purchasing strategies.

Design/methodology/approach

Various methods are used to achieve the research objectives. First, data mining techniques are used to cleanse and analyse the purchasing data. Then, the steel material properties dataset was analysed using hierarchical clustering and k-means clustering methods to facilitate data analysis and identify the most strategically important project. Technical analysis of the material details of the selected project was also carried out in order to propose purchasing strategies that are likely to be profitable, taking into account factors such as the consumption of steel material, its thickness and the type of rolling. This study uses data mining and machine learning techniques to increase the efficiency and accuracy of the purchasing process, demonstrating that human error in purchasing process analysis can be reduced and that time-consuming analysis, typically performed by the buyer, can be performed quickly and effectively.

Findings

The results of the study show that the use of data mining and machine learning techniques in purchasing processes can lead to the identification of strategically important projects, improved data analysis and the development of profitable purchasing strategies. The methods used in the study can reduce human error in procurement processes, improve decision making and contribute to cost optimisation and supplier management. The study highlights the practical value of data-driven approaches into strategic purchasing decisions and emphasizes their potential to improve overall business performance.

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. Future studies should aim to address these limitations and extend the scope of analysis to gain a more comprehensive understanding of strategic purchasing decisions.

* İlgili Yazar / Corresponding author: seraymir@hotmail.com, +905343640918

Practical implications

The research findings highlight the potential for data mining and machine learning techniques to improve purchasing practices and decision making. Practical implications include the need to incorporate these techniques into the procurement workflow to improve strategic sourcing and increase profitability. This research highlights the importance of adopting data-driven approaches to purchasing and suggests that companies should invest in the necessary tools and expertise to use these techniques effectively.

Social Implications

This research can have a positive impact on society by improving purchasing efficiency and promoting data-driven decision making. It has the potential to influence public attitudes towards the value of advanced techniques in procurement and encourage sustainable sourcing practices.

Originality

This study brings a new perspective by harnessing the power of data mining and machine learning in the area of strategic purchasing and profitability for steel materials. It offers valuable insights and innovative strategies for purchasing professionals, while also captivating the interest of researchers and practitioners in the field. With its proposed approach, the paper opens up new possibilities and potential for smarter strategy development in the ever-evolving landscape of purchasing and supply chain management.

1. Giriş (Introduction)

İşletmelerin hayatta kalabilmesi için kritik öneme sahip faaliyetlerden bir tanesi de satın alma faaliyetleridir. Satın alma faaliyetleri, tedarikçi ve müşteri arasında bir köprü görevi görmekle birlikte, rekabet, maliyet, kalite, zaman planlaması gibi konuları da kapsamaktadır. Değişen dünya koşullarında, satın alma fonksiyonlarının çevik ve doğru kararlarla yönetilmesi gerekmektedir. Aksi halde istenmeyen maliyetlere, üretim fonksiyonlarında verimlilik kayıplarına veya üretim duruşlarına yol açabilir. Bir işletmede, satın alma yapılan ürün çeşitleri arasında, kritik öneme sahip birçok malzeme vardır. Önemli grupta yer alan malzemelerden biri de çelik malzemelerdir. Çelik malzemeler, otomotiv, beyaz eşya, havacılık, madencilik gibi birçok sektörde farklı amaçlarla kullanılabilir. Çelik malzemeler, büyük bobinler halinde üretilip sonrasında istenilen ebatlarda kesilerek ilgili süreçlerden geçtikten sonra talep edilen formlara dönüştürülmektedir. Ancak karmaşık ve çok operasyonlu bir süreç olması sebebiyle doğru yönetilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmanın amacı, çelik malzeme satın alma süreçlerinde karlılık sağlayacak satın alma stratejilerini hızlı ve doğru şekilde ortaya koymaktır. Araştırmanın odaklandığı temel konular aşağıda belirtilmiştir:

- Satın alma verilerinin veri madenciliği teknikleri kullanılarak temizlenmesi ve analiz edilmesi, stratejik öneme sahip projelerin belirlenmesine nasıl katkı sağlar?
- Çelik malzeme satın alımında makine öğrenmesi yöntemleriyle stratejik öneme sahip ürün kümeleri nasıl belirlenebilir?
- Veri madenciliği ve makine öğrenmesi teknikleri kullanılarak oluşturulan stratejik kümeler, çelik malzeme satın alma stratejileri için nasıl değerlendirilebilir?
- Çelik malzeme satın alma süreçlerinde veri madenciliği ve makine öğrenmesi yöntemlerinin kullanılmasıyla elde edilen sonuçlar nelerdir ve nasıl stratejiler geliştirilebilir?

Bu kapsamda, otomotiv sektöründe yer alan bir firmaya ait çelik malzeme grubu için, doğru satın alma stratejilerini oluşturabilmek amacıyla bir uygulama yapılmıştır. Bu uygulama aşağıda belirtilen üç temel aşamadan oluşmaktadır.

- 1.Adım: Satın alma verilerinin incelenerek, gürültülü verilerin veri madenciliği teknikleri ile temizlenmesi
- 2.Adım: Makine öğrenmesi yöntemi ile stratejik öneme sahip ürün kümesinin belirlenmesi
- 3.Adım: Belirlenen küme için gerekli analizler yapılarak satın alma stratejilerinin oluşturulmasıdır.

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde seçilen konularda birtakım eksiklikler saptanmıştır. Satın alma için, literatürde müşterilerin satın alma davranışları ile ilgili pek çok çalışma mevcuttur. Örneğin, Köylüoğlu vd. (2018) yaptığı çalışmada akademisyenlerin araç satın alma davranışları üzerinde çalışmıştır. Bu çalışmada SPSS programını kullanarak, regresyon ve ANOVA gibi istatistiksel analiz ve testler kullanılmıştır. Kirgiz (2021) ise müşterilerin lüks otomobil satın alma kararlarını hangi faktörlerin etkilediği üzerinde korelasyon yöntemiyle çalışmıştır. Literatürde yer alan çalışmalarda müşterilerin satın alma davranışları, satın alma sürecini etkileyen karar kriterleri gibi konuların sıklıkla çalışıldığı fakat çalışma sonucunda belirlenen kriterlerin veya davranışların satın alma stratejilerine etkilerinin araştırılması konusunda yeterli araştırma olmadığı düşünülmektedir. Bu nedenle, bu çalışmada satın alma strateji geliştirme konusu da incelenmiştir.

Bu çalışmada ayrıca, satın alınan malzemelerde makine öğrenmesi teknikleriyle stratejik öneme sahip kümeler belirlenerek farklı satın alma stratejileri geliştirilmesi için de öneriler sunulmuş, literatürde yapılmış kümeleme çalışmalarından farklı olarak, oluşturulan kümeler analiz edilerek, satın alma stratejisi oluşturma çalışmaları için girdi olarak kullanılmıştır. Bu çalışma ile hedeflenen, günlük hayatta da sık karşılaşılan satın alma problemlerine, veri madenciliği, makine öğrenmesi yöntemleri ile çözüm oluşturmak ve karlı satın alma stratejileri oluşturmaktır. Çalışmanın ikinci bölümünde kaynak araştırması yapılmış olup, veri madenciliği ve makine öğrenmesi çalışmaları ile ilgili yapılan literatür araştırması sunulmuştur. Üçüncü bölümde önerilen yöntemler açıklanmış, dördüncü bölümde veri madenciliği ve makine öğrenmesi yöntemleri kullanılarak yapılan uygulama sonuçları yer almaktadır. Beşinci bölümde ise sonuç ve çıktılar ortaya konarak belirlenen stratejiler sunulmuştur.

2. Kaynak Araştırması (Literature Research)

Bu bölümde, çalışma kapsamında kullanılan veri madenciliği ve makine öğrenmesi konuları ile ilgili yapılmış çalışmalar açıklanmıştır.

2.1. Veri Madenciliği (Data Mining)

Veri madenciliği, tanınmayan, saklı veya faydalı verilerin veri tabanlarından belli kurallar çerçevesinde otomatik bir şekilde elde edilerek bilginin işlevsel hale getirildiği analiz sürecidir (Erbudak, 2022). Kameshwaran vd. (2014) veri madenciliğini, bir veri setinden, ihtiyaç duyulan bilginin doğru şekilde çıkarılarak, anlaşılır şekle dönüştürülme süreci olarak tanımlamaktadır.

Erpolat (2012) yaptığı çalışmada veri madenciliği yöntemlerinin kuvvetli ve zayıf yönlerini aşağıdaki gibi sunmaktadır:

Kuvvetli Yönler:

- Çok boyutlu ele alınabilecek sorunların çözümü için uygun bir araçtır.
- Karmaşık durumların çözümlenmesinde kullanılmak için uygundur
- Hem sayısal hem de kategorik değişkenlerin çözümünde kullanılabilir.

Zayıf Yönler:

- 0 ve 1 arasında giriş verisi olması gerekir. Yani veri setinin nümerik bir matris haline dönüştürülmesi gerekmektedir.
- Ürettikleri sonuçların açıklamasını sunamamaktadır.
- Sonuçlar farklı teknikler ile tekrarlanarak daha iyi sonuçlar ortaya konabilir.

Savaş vd. (2012) yaptıkları çalışmada, veri madenciliği çalışmalarında veri türlerine göre karşılaşılan problemleri aşağıdaki gibi belirtmektedir:

- Artık veri: Veri setindeki gereksiz ve ihtiyaç duyulmayan verilerdir.
- Belirsizlik: Hataların şiddetini belirtir.
- Boş değerler: Herhangi bir değere eşit olmayan ve niteliği olmayan verilerdir.
- Dinamik veri: Sürekli değişen verilerdir. Genellikle kurumsal hayattaki veriler bu gruba girmektedir.
- Eksik veri: Veri setinin içeriği gereğince veya hata ile doğan verilerdir. İstatistiksel analizlerde problem yaratma ihtimali yüksektir.
- Farklı tipteki veriler: Sadece sembolik veya kategorik veriler değil, tam sayılı, kesirli, coğrafi konum bilgileri gibi farklı tipte verilerin mevcut olmasıdır.
- Gürültülü değerler: Verinin toplanması veya aktarılması aşamasında doğan, istenmeyen ve analizleri yanlış etkileme riski bulunduran verilere gürültülü değerler denilmektedir.

Savaş vd. (2012) Türkiye’de veri madenciliği uygulamalarına 2000’li yıllardan sonra ilginin arttığını belirtmiş, mühendislik, bankacılık, eğitim, ticaret, sağlık gibi farklı sektörlerde veri madenciliği uygulamalarından faydalandığını ortaya koymuştur. Veri madenciliği çalışmalarında, önemli noktalardan biri veri setinin dağılımı hakkında bilgi sahibi olmaktır. Bir verinin normal dağılıma sahip olup olmadığını anlamak için geliştirilen birçok test vardır. Veri setinin normallik testinde çıkan sonuca göre doğru makine öğrenmesi yönteminin seçilmesi önem arz etmektedir. Jeong vd. (2016) yaptıkları çalışmada, verilerin normallik testini yaparken faydalanılabilecek birçok testi ortaya koymuştur. Bunlar, Kolmogorov-Smirnov testi, Lilliefors testi, Cramer-von Mises testi, Shapiro-Francia testi, Jarque-Bera testi, D’Agostinos testi, Doornik-Hansen testi, Enerji testi, Shapiro Wilk ve bu çalışmada kullanılan Anderson Darling normallik testidir.

Babaoğlu (2015) yaptığı çalışmada, veri madenciliği uygulama aşamalarını aşağıda belirtilen yedi ana adımda incelemiştir:

1. Problemin ve çalışma sonucunda ulaşılmak istenen bilginin tanımlanması ve veri setinin anlaşılması,
2. Veri setinin temizlenerek, istenmeyen, amaca hizmet etmeyen, tekrarlı veya uygunsuz verilerin elimine edilmesi,
3. Verilerin düzenli ve kontrollü bir şekilde bir araya getirilmesi,
4. İhtiyaç duyulan verilerin belirlenmesi ve seçilmesi,
5. Uygun veri madenciliği tekniği ile verilerin analizi,
6. Verilerin değerlendirilmesi,
7. İhtiyaç duyulan bilgilerin, verilerden sentezlenmesi.

Tiwari vd. (2018), çalışmasında 2010-2016 yılları arasında tedarik zinciri çalışmalarında veri madenciliği çalışmalarının önemine ve firmalar için rehber olarak kullanılabileceğine vurgu yapmıştır. Veri madenciliği ile farklı sektörler için karmaşık veri setlerinin analizi, yorumlanması ve bilgilerin anlamlı hale getirilmesi sürecine değinmiştir. Safaei vd., (2018) çalışmasında tedarik zinciri ve satın alma maliyetlerinin azaltılması ve pazar payının artması için veri madenciliği tekniklerinin önemini vurgulamıştır. Sağlık satın almaları için yapılan bu çalışmada satın alma maliyetlerinin azaltılarak tedarikçi ilişkilerinin iyileştirildiği ortaya konmuştur. Qing vd., (2021) çalışmasında veri madenciliği yöntemlerinin kullanılmasının satın alma davranışları üzerinde belirleyici olduğunu ortaya koymuştur.

Ricci vd. (2011) veri madenciliğini üç ayrı adımda incelemiştir. Bu adımlar verinin hazırlanması, analizi ve yorumlanmasıdır. Verinin hazırlanması adımı, veriler arasındaki uzaklıkların ölçülmesi, örneklemin seçilmesi ve uzaklıkların azaltılması adımlarını kapsamaktadır. Analiz adımı, tahmin ve tanımlama olarak ikiye ayrılmaktadır. Tahmin için sınıflandırma yöntemleri kullanılmaktadır. Bu yöntemler k-en yakın komşu, karar ağaçları, Bayes ağları ve destek vektör makineleri olarak sayılabilir. Tanımlama için ise birliktelik analizleri kullanılmaktadır. Yorumlama adımı ise, veri madenciliğinden elde edilen çıktıların bilgiye dönüştüğü yorum aşamasını içermektedir. Veri madenciliği, çeşitli veri setlerinden faydalı bilgilerin elde edildiği bir analiz sürecidir. Veri madenciliği yöntemleri, karmaşık sorunların çözümünde etkili olmakta, literatürde farklı sektörlerde yapılan uygulamalar ile ilgili çalışmalar bulunmaktadır.

2.2. Makine Öğrenmesi (Machine Learning)

Makine öğrenmesi kısaca, bir bilgisayarın deneyimlere dayalı öğrenmesi olarak tanımlanabilir (Al-Omary vd., 2005). Russom (2011), veri yönetimini, farklı istatistiksel ve makine öğrenmesi yöntemlerinin veri setleri üzerinde uygulanması olarak yeni bir iş zekâsı uygulaması olarak tanımlar.



Şekil 1. Sık Tercih Edilen Makine Öğrenmesi Algoritmaları (Widely Used Machine Learning Algorithms)

Şekil 1.'de görüleceği üzere makine öğrenmesi kendi içinde, gözetimli ve gözetimsiz öğrenme olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (Özgür, 2002).

Gözetimli öğrenme, bağımlı ve bağımsız değişken arasındaki ilişkiyi ortaya koymayı amaçlamaktadır. Bu yöntem için, bağımlı değişkenlerin değerlerinin biliniyor olması önem arz etmektedir. Gözetimli öğrenme kendi içinde lineer modeller ve ağaç tabanlı yöntemler olarak ikiye ayrılmaktadır. Lineer modellerin alt grubunda lineer

regresyon, ağaç tabanlı yöntemlerin altında ise karar ağaçları, rastgele orman yöntemi gibi örnekler yer almaktadır (Özgür, 2002).

Gözetimsiz öğrenmede tüm değişkenler ayrı ayrı ele alınmakta ve bağımlılık ilişkisi aranmamaktadır. Ancak gözetimli öğrenmeden farklı olarak, gözetimsiz öğrenmede ulaşılması gereken hedefler vardır. Bunlar, veri sayısının azaltılması, verilerin kümelenmesi gibi amaçlar olabilir. Değişkenlik içeren durumlarda, eğer yeterli sayıda veri varsa ve değişkenler biliniyorsa gözetimsiz öğrenme tercih edilebilir (Özgür, 2002). Gözetimsiz öğrenme, kümeleme analizleri ve birliktelik analizlerini içermektedir. Kümeleme analizi altında, K-ortalamar ve hiyerarşik kümeleme sık kullanılan makine öğrenmesi algoritmalarına örnek verilebilirken, birliktelik analizleri içerisinde apriori algoritmaları örnek verilebilir.

Liu vd. (2000), gözetimli öğrenme tekniklerinden biri olan karar ağaçlarını, normal dağılıma sahip olan ve olmayan iki veri seti üzerinde uygulamış ve normal dağılıma sahip veri setindeki performans ve hassasiyetin daha iyi düzeyde olduğunu ortaya koymuştur. Erpolat (2012) çalışmasında, bir otomobil yetkili servisinde müşterilerin alışveriş verileri arasındaki bağlantıları apriori algoritması ile çalışmış ve hangi ürünlerin birlikte alındığını ortaya koymuştur. Saputra vd. (2019) çalışmasında kümeleme yöntemleri başlığı altında, K-ortalamar yöntemini kullanarak ideal küme sayısını belirlemiş ve değerlendirmiştir. Bu çalışmada ideal küme sayısını belirlemek için dirsek yöntemi, Silhouette yöntemi ve Gap istatistik yönteminden faydalanmıştır. Çalışma sonucunda bu üç yöntemin aynı küme sayısını bulmasının bir zorunluluk olmadığı ve her yöntemin ayrı bir hesaplama mantığı ile küme sayısını belirlediğini belirtmiştir. Patel vd. (2022) çalışmasında, bir veri setinin optimal küme sayısının bulunması için K-ortalamar yöntemi ve hiyerarşik kümeleme yöntemlerini karşılaştırmıştır. K-ortalamar yöntemi için, dirsek, Silhouette ve Gap istatistik yöntemlerini kullanarak küme sayılarını belirlemiştir. Küme sayılarının yöntemlere göre değişebileceğinin önemini belirtmiştir. Küme sayısının geçerliliğini test edebilmek için ayrıca bağlantısallık, Dunn indeks ve Silhouette indeks yöntemleri ile test yapmıştır. Bu çalışma sonucunda, ilgili veri seti için en uygun kümeleme yöntemi, kümelemenin geçerliliğini test eden yöntem ve küme sayısını ortaya koymuştur. Zhao vd., (2017) çalışmasında paketleme birimine ait stoklama, satın alma, malzeme ve nakliye gibi maliyetlerini kümeleme yöntemleri ile azaltmıştır. Bu çalışmada k-ortalamar, hiyerarşik kümeleme yöntemleri kullanılmıştır. Farklı makine öğrenmesi yöntemlerinin satın alma süreçlerinde uygulanması ile ilgili literatürde yapılan pek çok çalışma bulunmasına rağmen, makine öğrenmesi yöntemleri ile elde edilen sonuçların satın alma stratejisi geliştirilmesi ile entegre edildiği yeterli sayıda çalışma bulunmamaktadır.

3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Bu çalışmada, bir otomotiv işletmesine ait 732 farklı çelik malzeme içeren veri setinde, doğru satın alma stratejilerini oluşturmak hedeflenmiş olup çalışmanın temel adımları aşağıda belirtilmiştir:

- Veri setinde gürültülü verilerin tanımlanması
- Veri madenciliği ile kümeleme analizi
- İdeal küme sayısının tespiti
- K-ortalamar yöntemi ile maliyet tabanlı ürün grupları ve kümelerin oluşturulması
- Oluşturulan kümelerin değerlendirilmesi

Bu çalışmada R studio paket programı kullanılmış olup 1.4.1106 versiyonunda çalışmalar yapılmıştır.

Gerçek hayat verileri hiçbir zaman mükemmel değildir, bu sebeple analizler yapılırken gürültülü verilerin de dahil edilmesi; verilerin yorumlanması, oluşturulan modelleri ve alınan kararları olumsuz yönde etkileyebilirler. Gürültülü veriler, sınıflandırmayı da negatif yönde etkiler. Bu negatif etkiler, sınıfların sınırlarının bozulması, anlamsız küçük kümelerin oluşması veya önemli kümelerin örneklemelerinin değişmesi olarak sayılabilir. Gürültülü verileri kolayca temizlemek için birçok yöntem mevcuttur. Bunlardan bazıları aşağıdaki gibi sıralanabilir (Liebchen vd. 2007);

- Güçlü Öğrenme: Budama yöntemi ile karar ağaçlarındaki gürültüye sebep olan olasılıkları azaltmaya çalışır.
- Veri Cilalama: Amacı mevcut veri setinde gürültülü verileri azaltmaya çalışmaktır, ancak küçük veri setleri üzerinde çalışılması tavsiye edilir, zaman alan bir yöntemdir.
- Gürültü Filtreleri: Veri setinde gürültüye yol açan senaryolar biliniyorsa, bu senaryoların veri setinden filtrelenerek ayrılan yöntemdir.

Çalışılan satın alma veri setinde, strateji oluşturmak için çalışırken karşılaşılabilecek bazı problemler aşağıda sunulmaktadır. Burada bulunan problemler, istenmeyen sonuçlara ve kararlara yol açabilir:

- Çelik satın alma veri setinin gürültülü veriler içeriyor olması,
- Gürültülü verilerin, veri setinin yanlış analiz edilmesine sebep olma riski,
- Uygun makine öğrenmesi algoritmasının seçilememesi,
- Verilerin yanlış sınıflandırılması,
- Veri setine ait ideal küme sayısının bilinmemesi,
- Projenin stratejik öneminin sadece maliyet kriterine göre belirlenmesi,
- Çelik üretim süreçleri ve malzeme bilgisi alanında yetersiz bilgi,
- Yanlış zamanda, yanlış satın alma stratejisi oluşturulması.

Satın alma veri setinde görülecek gürültülü verilerin birçok kaynağı olabilir. Örneğin; satın alma çalışmasının fiyat girişi esnasında yapacağı hatalar, dosyaların güncel olmaması, yanlış hesaplamalar vb. Bu çalışmada incelenen veri setinde gürültülü olarak tanımlanan durumlar aşağıda belirtilmiştir:

- Referansların projesinin belli olmaması: Bir çelik malzeme referansının hangi projede kullanılacağı veri setinde mutlaka bulunmalıdır. Bulunmaması halinde, proje maliyetleri belirlenirken hatalar ortaya çıkacaktır.
- Referansların seri üretimde olmaması: Seri üretim koşulları için yapılmak istenen bir analizde, seri ömrünü tamamlamış veya denemelerde kullanılan referansların yer almaması gerekir.
- Bir fiyat listesinde büyük sapmalar gösteren fiyatlar (beklenenden farklı seviyelerde fiyatlar) analiz edilmelidir. Bu fiyatlar özel bir malzemeye ait olabileceği gibi hatalı giriş sonucu ortaya çıkmış olabilir. Örneğin çalışmaya konu veri setinde satın alma çalışmasının yanlışlıkla negatif değer girdiği fiyatlar mevcuttur.

Veri setinin normal dağılıp, dağılmadığını anlamak için yapılan Anderson-Darling testinin formülü Eşitlik 1'de verilmiştir:

$$AD = -n - \frac{1}{n} \sum (2i - 1) [\ln F(x_i) + \ln(1 - F(x_{n-i+1}))] \quad (1)$$

x_i : Veriler artan düzende sıralandığında seçilen i . sıradaki örnek
 $F(x_i)$: Belirtilen dağılım için kümülatif dağılım fonksiyonu (CDF)
 n : örneklem büyüklüğü
 AD : Anderson Darling

Normallik testi için oluşturulan hipotezler aşağıdaki gibidir;

H_0 : Veri seti normal dağılıma sahiptir.
 H_1 : Veri seti normal dağılıma sahip değildir.

Normallik testinde %95 güven aralığı için; $p < 0.05$ ise H_0 reddedilir ve veri seti normal dağılıma sahip değildir denir, $p > 0.05$ ise H_1 reddedilir ve veri seti normal dağılıma sahiptir denir (Jeong vd., 2016).

Satın alma çalışmalarında, veri seti Anderson Darling testi sonucunda normal dağılıma sahip değil ise makine öğrenmesi adımı için uygulanabilecek iki ayrı yöntem söz konusudur. İlki, normal dağılıma sahip olmayan veriyi, logaritmik dönüşüm, karekök dönüşümü vb. veri dönüştürme teknikleri ile normal dağılıma çevirmek ve sonrasında gözetimli öğrenme tekniklerini kullanmak veya normal dağılım gerektirmeyen gözetimsiz öğrenme tekniklerini kullanmaktır. Öztuna vd. (2006) çalışmasında, Kolmogorov-Smirnov, Pearson, Jarqua-Bera ve Shapiro-Wilk testlerini dağılımlar için hatalar ve güçlük açısından incelemiş olup normal olmayan dağılımlar için Shapiro-Wilk, Anderson Darling ve Jarqua-Bera testinin en güçlü sonuçları verdiğini belirtmiştir. Bu sebepten bu çalışmada Anderson Darling testi kullanılmıştır.

Bu çalışmadaki veri setinin normal dağılıma sahip olmadığı belirlenmiş, gözetimsiz öğrenme teknikleri uygulanmıştır. Gözetimsiz öğrenme tekniklerinin altında, en çok tercih edilen uygulamalardan biri olan K-ortalamlar yöntemi seçilmiştir.

1967 yılında MacQueen tarafından önerilen K- ortalamlar yöntemi büyük ve karmaşık verilerden basit ve anlaşılır veri kümelerine ulaşmayı amaçlamaktadır (Patel vd. 2022). Tekin (2018) çalışmasında K-ortalamlar yönteminin adımlarını başlangıç, tekrarlama, iyileştirme ve durma olarak aşağıdaki gibi belirtmiştir;

- Başlangıç aşamasında, her veri kendine en yakın rastgele bir küme merkezine atanır.
- Tekrarlama aşamasında ilgili küme merkezi, verilerin ortalaması olacak şekilde değiştirilir.
- İlgili verinin küme merkezine uzaklığı seçilen uzaklık metriği ile hesaplanır ve hata değeri belirlenir.

- İyileştirme aşamasında her veri yeniden kendine en yakın küme merkezine atanır.
- Hiçbir veri kümeler arası hareket yapamayacak hale geldiğinde durma işlemi gerçekleşir.

Verilerin gerekli sayıda kümelere ayrılması ve birbiriyle uyum içinde olması için doğru sayıda kümeye ayrılması gerekmektedir. Ancak veri setine göre ideal küme sayısı değişmektedir. Dolayısıyla her çalışmada, veri setine özgü ideal küme sayısı belirlenmelidir.

Küme sayısını belirlemek için üç ayrı yöntem mevcuttur: dirsek yöntemi, Silhouette yöntemi ve Gap istatistik yöntemi. Ancak her yöntem farklı bir küme sayısına işaret edebilir (Patel vd., 2022).

Dirsek yöntemi, veri gruplarının birbirine olan uzaklıklarının kareler toplamını hesaplama temeline dayanan bir yöntemdir. Veri kümelerinin birbirine benzerliklerini ölçmeyi ve benzer verileri bir arada kümelemeyi hedeflemektedir. Dirsek yöntemi grafikte dirseğe benzer bir kırılmanın olduğu yerde ideal kümelemenin olduğunu belirtmektedir. İdeal küme noktasından sonra, grafikte düşüşler daha yavaş gözlemlenmektedir (Cui, 2020; Patel vd., 2022). Dirsek yönteminin formülü Eşitlik 2'de verilmiştir.

$$\text{Dirsek Yöntemi} = \sum_{1.\text{küme}} \text{uzaklık} (P_i, C_1)^2 + \sum_{2.\text{küme}} \text{uzaklık} (P_i, C_2)^2 + \dots + \sum_{n.\text{küme}} \text{uzaklık} (P_i, C_N)^N \quad (2)$$

P_i : Seçilen kümedeki i . nokta

C_N : N. kümenin merkezi

N : Küme sayısı

Silhouette yöntemi, her değer için kümelerle arasındaki uzaklığa bakmaktadır ve oluşan her değer için (-1,1) arasında değerler üretmektedir. +1'e en yakın değer en uygun olarak belirlenmektedir. Silhouette yöntemi Eşitlik 3'de gösterildiği gibi hesaplanmaktadır (Wang vd., 2019; Patel vd., 2022):

$$s(i) = \frac{b_i - a_i}{\max(b_i - a_i)} \quad (3)$$

a_i = i . verinin aynı kümedeki diğer verilere ortalama uzaklığı

b_i = i . verinin en yakın komşu kümelere olan uzaklığı

$s(i)$ = Silhouette değeri

Gap istatistik yöntemi, kümelerin, gerçekleşen değerlerinin karelerinin toplamlarının, beklenen değerlerine göre logaritmik değerce farkını karşılaştırmaktadır. Bu iki değer arasındaki Gap büyüklüğü, rastgele uniform dağılımdan ne kadar uzakta olduğu belirtmektedir. Gap ne kadar büyükse, sonuç o kadar anlamlıdır. Başka bir deyişle, Gap büyüklükleri farklı kümelere işaret etmektedir (Patel vd., 2022)

Yukarıda açıklanan yöntemler ile doğru küme sayısı belirlendikten sonra belirlenen küme sayılarının kontrolü ve doğrulamasının yapılması gerekmektedir. Özetle, bulunan kümelerin ne kadar doğru sonuçlar verdiği araştırılmalıdır. Bu doğrulama sürecinde üç ayrı yöntem takip edilmektedir (Shobha vd., 2017).

Bağlantı indeksi, verilerdeki yerel yoğunlukları gözlemlemekte ve veri gruplarını en yakın komşulara göre kümelere ayırmaktadır. Bu indeks, bir verinin kendisine en yakın komşu kümeye ne düzeyde yerleştiğini göstermektedir. Bağlantı indeksinden çıkan sonuçlar sıfır ve sonsuz arasında olup, minimum değer elde edilmesi gerekmektedir. Burada N gözlem sayısı, m toplam veri sayısı, L veriye en yakın küme sayısı, c gözlemlere ait ayrık kümeler olarak alınırsa, bağlantı indeksi Eşitlik 4'de gösterildiği gibi hesaplanabilir (Shobha vd., 2017):

$$\text{Conn}(C) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^L x_{i,m_j} \quad (4)$$

Silhouette indeksi, kümelere nesnelere bulunduğu yerlere göre kararlılıklarını göstermektedir. Silhouette indeksi, 1'e yakın ise iyi kümelenebilir, eğer -1'e yakın ise zayıf kümelenebilir verilerdir. Başka bir deyişle, Silhouette indeksi (-1,1) aralığında olup maksimize edilmesi gereken bir değerdir. Silhouette indeksi Eşitlik 3'de gösterildiği şekilde ölçülmektedir (Shobha vd., 2017).

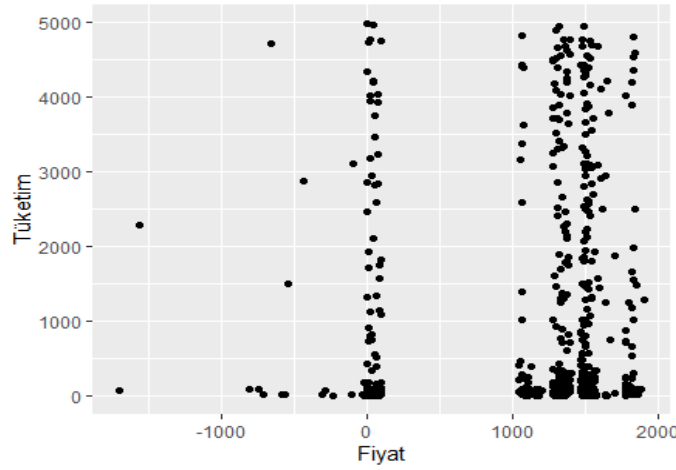
Dunn indeksi, aynı kümede olmayan en yakın iki verinin uzaklığının, aynı kümede olan birbirine en uzak iki veriye uzaklığına oranıdır. Dunn indeksi (0,1) aralığında olup, maksimize edilmesi gereken bir değerdir. Dunn indeksi Eşitlik 5'de gösterildiği gibi hesaplanabilir (Shobha vd., 2017):

$$D(c) = \frac{\min_{c_k, c_i \in c_k \neq c_i} (\min_{i \in c_k, j \in c_i, dist(i, j)})}{\max_{c_k} diam(c_k)} \quad (5)$$

c_i : i kümesinin benzerlik fonksiyonu
 c_k : k kümesinin benzerlik fonksiyonu
 $diam$: kümeler arası maksimum uzaklık

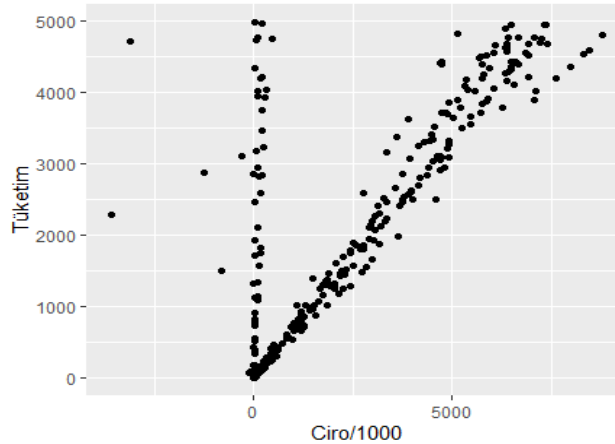
4. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

Çalışmanın yapıldığı veri setindeki gürültülü verileri doğru yorumlamak ve temizleyebilmek için, ilk adımda veri setinin iyi tanınması ve analiz edilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada R Studio "*library(dplyr)*", "*library(tidyverse)*", "*library(ggplot2)*", "*library(factoextra)*" kütüphaneleri kullanılmıştır.



Şekil 2. Gürültülü Veriler Barındıran Veri Setinin Fiyat-Tüketim Grafiği (Price- Consumption Graphic with Noisy Data)

İlk adımda, veri setinin anlaşılması için mevcut veri setinin grafiği oluşturulmuştur. Şekil 2’de verilerin fiyat tüketim grafiği yer almaktadır. Şekil 2’ye bakıldığında fiyatı sıfır ve negatifte bulunan birçok değer olduğu gözlemlenmektedir. Ancak bir satın alma operasyonunda, bir ürünün fiyatı sıfır veya negatif olmamalıdır. Eğer, veri seti bu şekilde gürültülü verileri barındırırken bir analiz yapılacak olursa, analiz sonuçlarının sağlıklı olmaması veya yanlış yönlendirmeye açık olması gibi sorunlarla karşılaşılabilir.



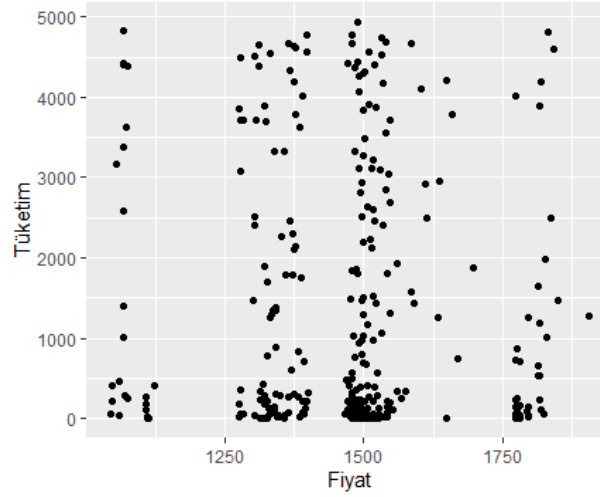
Şekil 3. Gürültülü Veriler Barındıran Veri Setinin Ciro-Tüketim Grafiği (Turnover - Consumption Graphic with Noisy Data)

Şekil 3’te ise verilerin ciro ve tüketim grafiği yer almaktadır. Şekil 2’de görülen sıfır ve negatif değer problemi Şekil 3’te yer alan grafikte de görülmekte, cirosu sıfır olan pek çok veri gözlenmektedir. Gürültülü verilerin temizlenmesi üç adımda yapılmıştır:

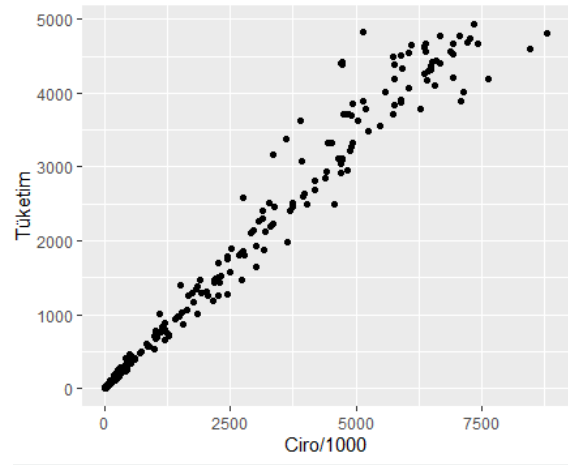
- Adım 1: Fiyatı negatif olmayan ve 500 €/ton’dan yüksek verilerin seçilmesi (500 €/ton temsili bir rakam olarak alınmıştır.)
- Adım 2: Sadece seri üretimde devam eden referansların seçilmesi

- Adım 3: Proje sütunu boş olan tüm satırların silinmesi

Bu adımlar sonucunda 732 satır veri, 414 satır veriye düşürülmüştür.



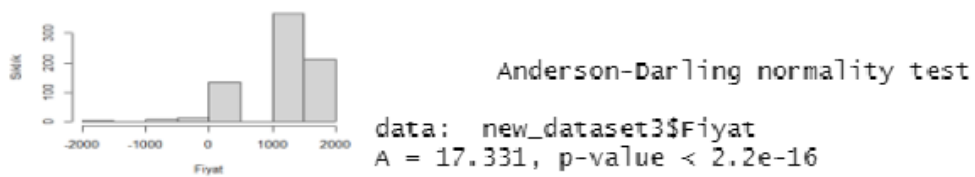
Şekil 4. Gürültülü Verilerin Temizlenmesinden Sonra Fiyat-Tüketim Grafiği (Price- Consumption Graphic without Noisy Data)



Şekil 5. Gürültülü Veriler Temizlenmesinden Sonra Ciro-Tüketim Grafiği (Turnover- Consumption Graphic without Noisy Data)

Şekil 4 ve Şekil 5'te görüldüğü üzere, gürültülü veri olarak adlandırılan fiyatı veya cirosu sıfır veya negatif olan veriler temizlenmiştir.

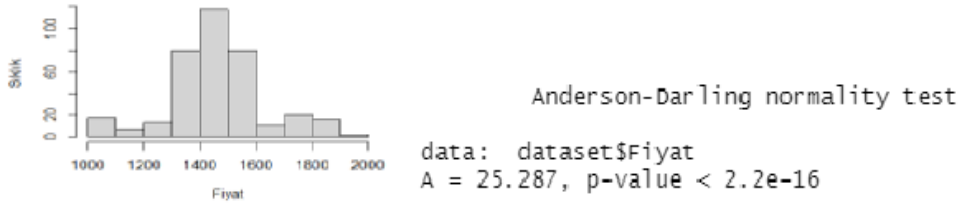
Veri temizliği tamamlandıktan sonra veri setinin dağılımının normal olup olmadığının tespit edilmesi gerekmektedir. Bunun için Anderson Darling testi yapılmıştır.



Şekil 6. Gürültülü Veriler Temizlenmeden Önceki Duruma Ait Histogram Grafiği ve Anderson Darling Testi Sonuçları (Histogram Plot and Anderson Darling Test Results with Noisy Data)

Şekil 6'da gürültülü veriler temizlenmeden önceki durumun histogram grafiği ve Anderson Darling testi sonuçları

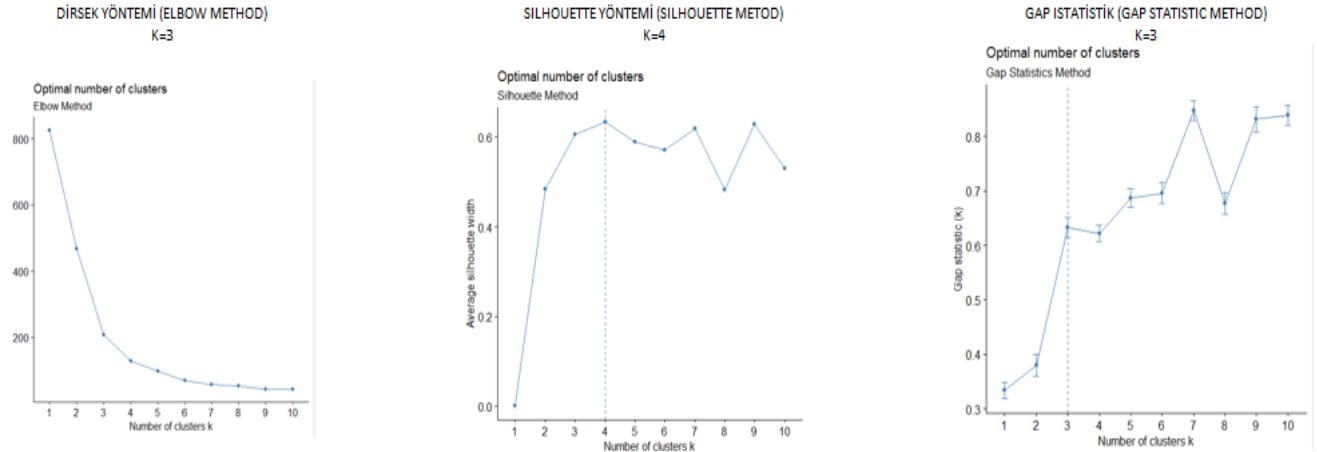
yer almaktadır. Şekil 6’da test sonuçlarına bakıldığında A değeri 17,331 bulunmuş olup $p < 0.05$ ’tir (p -değeri = $2.2e-16 \approx 2.2 \cdot 10^{-16}$). Dolayısıyla, H_0 hipotezi reddedilir. Anderson Darling testi, gürültülü veriler temizlenmeden önce verilerin normal dağılıma sahip olmadığını belirtmektedir.



Şekil 7. Gürültülü Veriler Temizlendikten Sonraki Duruma Ait Histogram Grafiği ve Anderson Darling Test Sonuçları (Histogram Graph and Anderson Darling Test Results without Noisy Data)

Gürültülü verileri temizledikten sonraki durum incelendiğinde, Şekil7’de görüldüğü üzere, grafik normal dağılım grafiğine benzese de sadece grafik ile yorum yapılmamalıdır. Anderson Darling normallik testi, gürültülü veriler temizlendikten sonra A değerinde 17,331’den 25,287’ye yükselerek iyileşme sergilemiştir. Ancak $p < 0.05$ (p -değeri = $2.2e-16 \approx 2.2 \cdot 10^{-16}$) olduğu için H_0 reddedilir, veri seti normal dağılıma sahip değildir.

Veriler temizlendikten sonra, bir sonraki adımda stratejik öneme sahip kümelerin tespit edilmesi gerekmektedir. Ancak veri normal dağılmadığı için regresyon analizi gibi yöntemler uygulanmamış makine öğrenmesi yöntemleri tercih edilmiştir. Optimal küme sayısının bulunması için üç farklı yöntem uygulanmıştır. Bunlar dirsek yöntemi, Sillhoutte yöntemi ve Gap istatistik yöntemidir.



Şekil 8. Kümeleme Uygulamaları (Clustering Applications)

Şekil 8’de yer alan analizlere göre, veri setinin, dirsek yöntemine göre üç kümeye, Sillhoutte yöntemine göre dört kümeye, Gap istatistik yöntemine göre ise üç kümeye ayrılması önerilmiştir. Belirlenen küme sayısının doğrulaması için bağlantı indeksi, Sillhoutte indeksi ve Dunn indeksi kullanılmıştır.

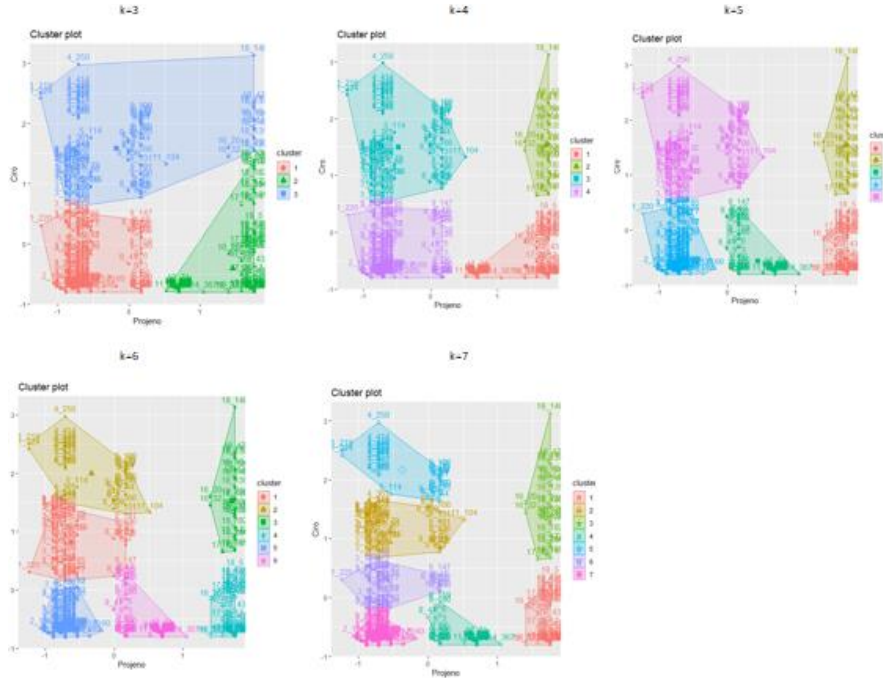
Tablo 1. Farklı Küme Sayıları için Validasyon Değerleri (Clustering Validation Indexes For Different Number of Clusters)

Kümeleme Yöntemi	Validasyon Ölçüm Yöntemi	3 Küme	4 Küme	5 Küme	6 Küme	7 Küme
Hiyerarşik Kümeleme	Bağlantı İndeksi	3,3778	8,3361	11,3901	12,0929	12,8119
	Dunn İndeksi	0,0773	0,0481	0,0481	0,0578	0,0578
	Silhouette İndeksi	0,4714	0,5836	0,5724	0,5449	0,6064
K-Ortalamalar ile Kümeleme	Bağlantı İndeksi	12,756	9,6663	15,9483	27,8802	34,0944
	Dunn İndeksi	0,0252	0,0391	0,0398	0,0479	0,0479
	Silhouette İndeksi	0,6063	0,6342	0,6039	0,5762	0,6215

Tablo 2. Optimal Küme Sayıları (Optimal Number of Clusters)

Optimal Değerler	Değer	Yöntem	İdeal Küme Sayısı
Bağlantı İndeksi	3,3778	Hiyerarşik Kümeleme	3
Dunn İndeksi	0,0773	Hiyerarşik Kümeleme	3
Silhouette İndeksi	0,6342	K-Ortalamalar ile Kümeleme	4

Tablo 1’de kümeleme yöntemleri, optimal küme sayısının bulunması için farklı küme sayılarına göre hesaplanan indeks değerleri verilmiştir. Tablo 2’de görüleceği üzere hiyerarşik kümeleme yapılması durumunda bağlantı indeksi ve Dunn indeksi üç kümenin tercih edilmesi gerektiğini göstermektedir. Bu sonuç, Şekil 8’de gösterilen dirsek ve Gap istatistik yöntemi ile eşleşmektedir. Çalışmada tercih edilen K-ortalamalar yöntemi ile, Silhouette indeksine göre dört kümeye ayrılmalıdır. Bu sonuç Şekil 8’de gösterilen Silhouette yöntemi ile eşleşmektedir.

**Şekil 9.** Farklı Küme Sayıları için K-ortalamalar Yöntemi ile Kümeleme Çalışmaları (Clustering Applications with K-means Method for Different Number of Clusters)

Şekil 9’da veri setinin K-ortalamalar yöntemiyle farklı küme sayıları (3 kümeden 7 kümeye kadar) için kümeleme analizleri yapılmış ve belirlenen kümeler incelenmiştir. Analiz sonucunda incelenen veri setinin farklı kümelere

bölünebildiği, ancak Tablo 2'de yer alan Silhouette değerine göre en uygun küme sayısı olan dört kümeye bölünmesinin daha uygun olduğuna karar verilmiştir.

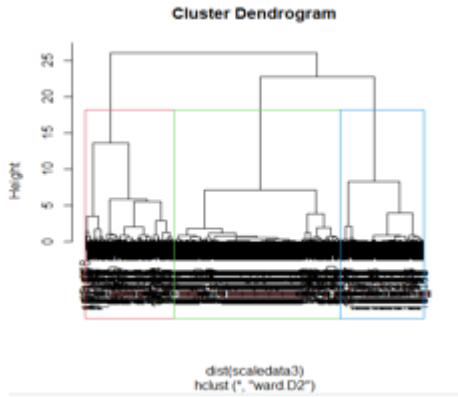
Veri seti dört kümeye bölündükten sonra incelenen 18 projeye ait referans numaralarının belirlenmiş kümelere göre dağılımları incelenmiştir.

Tablo 3. K-Ortalamalar Yöntemi ile Belirlenen Kümelerin Proje Bazlı Ayrılması (Project Based Classification of Clusters Determined by K-means Algorithm)

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P11	P12	P14	P16	P17	P18
Küme_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	25	1	3	7	54
Küme_2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	22
Küme_3	2	0	17	34	5	0	0	6	20	1	0	0	0	0	0
Küme_4	1	1	19	149	16	2	1	2	22	0	0	0	0	0	0

Tablo 3'te K-ortalamlar yöntemine göre dört kümeye ayrılan veri seti içinde stratejik açıdan en önemli projenin dört numaralı proje olduğu tespit edilmiştir çünkü ciroya bağlı oluşturulan referansların dört numaralı kümede yığıldığı gözlemlenmiştir. Projeler arasında yer alan 10,13 ve 15 numaralı projelerde seride olan bir referans olmadığı için bu projedeki veriler gürültülü veri olarak işaretlenerek silinmiştir. Bu sebepten Tablo 3'de bu üç proje yer almamaktadır.

İncelenen veri seti, hiyerarşik kümeleme yöntemi ile de kümelendirilmiştir. Hiyerarşik kümeleme yöntemine göre Tablo 2'de yer alan bağlantı ve Dunn indeks değerlerine göre en uygun küme sayısı üç olarak önerildiği için, veri seti üç kümeye ayrılmış, incelenen 18 projeye ait referans numaralarının kümelere göre dağılımları incelenmiş ve hiyerarşik kümeleme yöntemine göre de stratejik açıdan en önemli projenin dört numaralı proje olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 60. Hiyerarşik Kümeleme Dendrogramı (Hierarchical Clustering Dendrogram)

Tablo 4. Hiyerarşik Kümeleme Yöntemi ile Belirlenen Kümelerin Proje Bazlı Ayrılması (Project Based Classification of Clusters Determined by Hierarchical Clustering Algorithm)

Küme Sayısı	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P11	P12	P14	P16	P17	P18
Küme_1	2	0	16	33	5	0	0	6	20	1	0	0	2	1	22
Küme_2	1	1	20	150	16	2	1	2	11	0	0	0	0	0	0
Küme_3	0	0	0	0	0	0	0	0	11	1	25	1	3	7	54

Hiyerarşik kümeleme yöntemine göre kümelere ait dendrogram Şekil 10'da ve proje bazlı dağılım Tablo4'te verilmiştir.

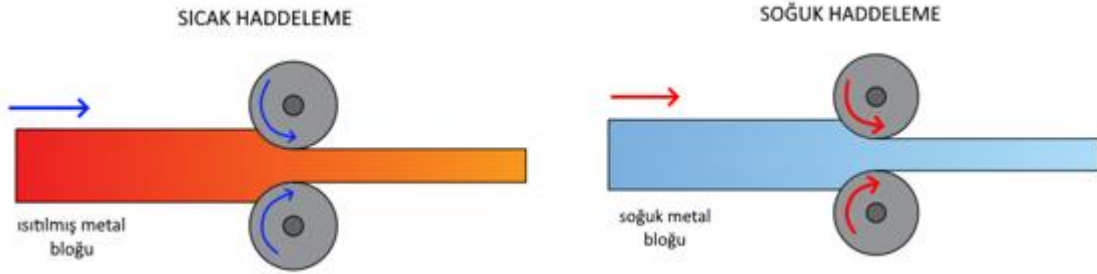
Yapılan kümeleme çalışmaları ile dört numaralı projenin farklı kümeleme yöntemleri olan hiyerarşik kümeleme ve K-ortalamlar kümeleme yöntemiyle en fazla stratejik öneme sahip proje olduğu ortaya konmuştur. Burada çalışandan kaynaklanabilecek hatalar ortadan kaldırılarak kümeleme yöntemleri ile hızlı ve hatasız çözüm

alınmıştır.

Stratejik açıdan en büyük öneme sahip dört numaralı proje ayrıntılı incelendiğinde ürün grubu, ortalama kalınlık ve tüketim verileri ortaya konduğunda farklı satın alma stratejileri aşağıdaki gibi oluşturulmuştur:

Dört numaralı projedeki çelik malzemelerin içerisinde üç ayrı ürün grubu söz konusudur,

- HR (Hot Rolled)-> Sıcak Haddelenmiş Çelik Malzemeler
- HDG (Hot Dip Galvanized)-> Sıcak Galvanizlenmiş Çelik Malzemeler
- CR (Cold Rolled)-> Soğuk Haddelenmiş Çelik Malzemeler



Şekil 11. Haddelenme Operasyonları (Rolling Operations)

HR, HDG ve CR ürün grubu operasyonları Şekil 11’de gösterilmiştir. Sıcak haddelenmiş çelik malzemeler Şekil 11’deki sıcak haddelenme operasyonundan geçmektedir. Soğuk haddelenmiş malzemeler ise, sıcak haddelendikten sonra, soğuk haddelenme operasyonuna girmektedir. Sıcak galvanizli malzemeler ise, haddelenme operasyonlarının haricinde galvaniz havuzlarına girerek galvanizleme operasyonu geçirmektedir. Üç ayrı ürün grubuna göre önerilen satın alma stratejileri aşağıda açıklanmıştır:

Strateji_1: HR ürün grubunda ortalama kalınlık projedeki çeliklerin ortalama kalınlığının yaklaşık %60 üzerindedir. Bu projede ortalama kalınlığın üzerinde kalan çelik malzemeler için gerekli teknik kontroller yapılarak kalınlık azaltma çalışması yapılabilir. Bu çalışma yapılırken, mevcut çeliklerin hangi fonksiyonda kullanılacağı ve dayanım, mukavemet gibi teknik detayları göz önünde bulundurulmalıdır. Çelik malzemede kalınlık azaltılabilirse, toplam maliyette de düşüş görülecektir.

Strateji_2: HDG malzemeler tüketim tonajı en yüksek ürün grupları arasında yer almaktadır. Galvanizleme, sıcak haddelenme haricinde ekstra bir operasyon olduğu için, ekstra maliyet getirdiği bilinmektedir. Bu grupta yer alan malzemelerde galvanizleme operasyonu kaldırılarak, HR olarak beklentileri yerine getirip getirmediği araştırılmalıdır. Bunun haricinde HDG grubunda kalitelerde bir ortaklaştırma ile maliyet avantajı sağlanabilir.

Strateji_3: CR, HR’ye göre daha iyi yüzey kalitesine sahip olup hassas uygulamalar için uygundur. Ancak CR’de kesilme, kıvrılma veya kaynak operasyonu malzemedeki gerilimler serbest kalabilir ve malzemede kırılma veya çatlak gözlemlenebilir. HR’ye göre ekstra bir operasyon daha içerdiği için piyasadaki ekonomik dalgalanmalardan hızlı etkilenme ve fiyat artışına uğrama riski vardır. Malzemenin kullanıldığı yer, CR hassasiyeti gerektirmiyor ise CR ürün grubu tercih edilmemelidir.

5. Sonuç ve Tartışma (Results and Discussion)

Bu çalışmada bir otomotiv işletmesinde çelik malzeme satın alma süreçleri ile ilgili veri seti için veri madenciliği teknikleri ile gürültülü verilerin temizlenmesi, makine öğrenmesi yöntemleri ile kümelemenin yapılması, ideal küme sayısının belirlenmesi, kümelerin doğrulanması ve karlılık içeren satın alma stratejilerinin geliştirilmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır.

Çelik malzeme satın alma veri setinde kritiklik arz eden referansların kolayca tespiti, satın alma süreçlerinde sıklıkla karşılaşılan gürültülü verilerin temizlenmesi ve önemli referansların kümelenecek gelecek dönemler için satın alma stratejilerinin oluşturulmasında fayda sağlamıştır. Satın alma çalışanlarının uzun zaman harcayarak yapacağı analizler, veri analizi ve makine öğrenmesi gibi yöntemler ile gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada önerilen analizler ile satın alma süreçlerinde çalışan kaynaklı hataların satın alma stratejileri geliştirme süreçlerindeki etkileri azaltılmıştır.

Satın alma verilerinin veri madenciliği teknikleri kullanılarak temizlenmesi ve analiz edilmesi, stratejik öneme sahip projelerin belirlenmesine önemli katkılar sağlamaktadır. Bu teknikler, veri setlerindeki gürültüyü ve anlamsız verileri tespit ederek veri kalitesini artırmakta ve doğru analizler yapılmasını sağlamaktadır. Satın alma verilerinin analiz edilmesi, tedarikçi performansı, talep tahminleri, stok yönetimi gibi stratejik konuların da anlaşılmasına ve gelecekteki projelerin belirlenmesine yardımcı olmaktadır. Makine öğrenmesi yöntemleriyle çelik malzeme satın alınmasında stratejik öneme sahip ürün kümeleri belirlenebilmektedir. Bu yöntemler, büyük veri setlerindeki karmaşık örüntüleri tanımak ve tahminler yapmak için kullanılmaktadır. Belirlenen ürün kümeleri için uygun satın alma stratejileri oluşturulabilmesi için çeşitli analizler yapılabilmektedir. Fiyat analizleri, rekabet analizleri, tedarikçi performans analizleri gibi analizler, uygun satın alma stratejilerinin belirlenmesine yardımcı olmaktadır. Veri madenciliği ve makine öğrenmesi teknikleri kullanılarak oluşturulan stratejik kümeler, çelik malzeme satın alma stratejileri için değerlendirilebilmektedir. Bu kümelerin içerisindeki çelik malzemelerin tedarikçi çeşitliliği, kalitesi, talep tahminleri ve risk analizleri gibi faktörler değerlendirilerek stratejik kararlar alınabilir.

Veri madenciliği teknikleri ve analitik yeteneklerin kullanımı, satın alma çalışanlarının daha bilinçli ve veri odaklı kararlar almasını sağlar. Satın alma verilerinin temizlenmesi ve analiz edilmesi sayesinde, stratejik konulara ilişkin daha iyi bilgilere ulaşılabilir. Bu da satın alma çalışanlarının etkili stratejiler geliştirmelerine ve daha iyi sonuçlar elde etmelerine yardımcı olur.

Ayrıca, makine öğrenmesi yöntemleriyle belirlenen stratejik ürün kümeleri, satın alma çalışanlarına tedarikçi yönetimi konusunda önemli bir yol göstericidir. Tedarikçilerden satın alınan malzemelerin hangilerinin stratejik öneme sahip olduğu ve ciroda nasıl bir etkisi olduğu belirlenebilir. Bu bilgiler, satın alma çalışanlarının tedarikçi ilişkilerini güçlendirmelerine ve daha iyi anlaşmalar yapmalarına yardımcı olur. Benzer şekilde stratejik öneme sahip malzemeler tespit edildikten sonra, maliyet azaltılması için alternatif malzeme araştırılması gibi çalışmalar mühendislik birimleri ile birlikte çalışılabilir.

Bu çalışma aynı zamanda maliyet optimizasyonu açısından da satın alma çalışanlarına fayda sağlar. Veri madenciliği ve makine öğrenmesi teknikleriyle yapılan analizler, maliyetlerin daha iyi yönetilmesine yardımcı olabilir. Fiyat analizleri, rekabet analizleri ve tedarikçi performans analizleri gibi analizler, satın alma çalışanlarının maliyetleri optimize etmelerine ve bütçe tasarrufu sağlamalarına yardımcı olur.

Sonuç olarak, bu çalışmada sunulan veri madenciliği ve makine öğrenmesi teknikleri, satın alma çalışanlarının veri odaklı kararlar almasını, stratejik tedarikçi yönetimi yapmasını ve maliyet optimizasyonu sağlamasını desteklemektedir. Bu yöntemlerin kullanımıyla satın alma çalışanları, daha etkili ve verimli bir şekilde görevlerini yerine getirebilir, işletme performansını artırabilir ve rekabet avantajı elde edebilirler. Çalışma kapsamında geliştirilen modeller, bir otomotiv firmasına ait gerçek veriler kullanılarak geliştirildiğinden, satın alma stratejilerinin geliştirilmesi ile ilgili literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Çalışmada elde edilen sonuçlar, malzeme fiyat tahminleme yöntemleri için girdi olarak kullanılabilir. Özellikle referans bazlı fiyat tahminleme araçlarının geliştirilmesi ve kullanılması için bu çalışmanın sonuçlarının kullanılabileceği düşünülmektedir. Bununla birlikte, gelecekteki çalışmalarda satın alma süreçlerine daha derinlemesine odaklanılması ve malzeme yönetimi stratejilerinin iyileştirilmesi önerilmektedir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

Kaynaklar (References)

- Al-Omary, A. Y., & Jamil, M. S. (2005). A new approach of clustering based machine-learning algorithm. *Knowledge Based Systems*, 19, 248-258.
- Asilkan, Ö. (2008). Veri Madenciliği Kullanılarak İkinci El Otomobil Pazarında Fiyat Tahmini [Akdeniz Üniversitesi].
- Babaoğlu, A. (2015). Veri Madenciliği Yöntemleri ve Bir Uygulama. *Selçuk Üniversitesi*. 117.
- Cui, M. (2020). Introduction to the K-Means Clustering Algorithm Based on the Elbow Method.
- Erbudak, A. E. (2022). Veri Madenciliği Ve Makine Öğrenimi İle Döviz Kuru Tahmini Uygulaması. 97.
- Erpolat, S. (2012). Otomobil Yetkili Servislerinde Birliktelik Kurallarının Belirlenmesinde Apriori ve FP-Growth Algoritmalarının Karşılaştırılması. *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 12(1 (151-166)).
- Henderson, A. R. (2006). Testing experimental data for univariate normality. *Clinica Chimica Acta*, 366(1-2)
- Jeong, J., Park, S., & Lee, C. (2016). Comprehensive comparison of normality tests: Empirical study using many different types of data. *Journal of the Korean Data and Information Science Society*, 27(5), 1399-1412.
- Kameshwaran, & Malarvizhi. (2014). Survey on Clustering Techniques in Data Mining. 5, 5.

- Kirgiz, A. (2021). Lüks Otomotiv Sektöründe Satın Alma Kararını Etkileyen Faktörler. *R&S - Research Studies Anatolia Journal*.
- Köylüoğlu, A. S., Acar, Ö. E., & İnan, Ü. S. E. (2018). Tüketicilerin Otomobil Satın Alma Davranışlarına Etki Eden Faktörlerin Belirlenmesi: Akademisyenlere Yönelik Bir Uygulama. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Meslek Yüksekokulu Dergisi*, 21(2), 251-273.
- Liebchen, G., Twala, B., Shepperd, M., Cartwright, M., & Stephens, M. (2007). Filtering, Robust Filtering, Polishing: Techniques for Addressing Quality in Software Data. *First International Symposium on Empirical Software Engineering and Measurement (ESEM 2007)*, 99-106.
- Liu, B., Xia, Y., & Yu, P. S. (2000). Clustering Through Decision Tree Construction. *Conference Of Information And Knowledge Management*. 10.
- Mitchell, T. M. (1997). *Machine Learning*. McGraw-Hill.
- Özgür, A. (2002). Supervised And Unsupervised Machine Learning Techniques For Text Document Categorization.
- Öztuna, D., Elhan, A. H., & Tüccar, E. (t.y.). Investigation of Four Different Normality Tests in Terms of Type 1 Error Rate and Power under Different Distributions. *Turk J Med Sci*.
- Patel, P., Sivaiah, B., & Patel, R. (2022). Approaches for finding Optimal Number of Clusters using K-Means and Agglomerative Hierarchical Clustering Techniques. *2022 International Conference on Intelligent Controller and Computing for Smart Power (ICICCSPP)*, 1-6.
- Russom, P. 2011. Big data analytics. TDWI Best Practices Report, 9/14/2011. <https://tdwi.org/research/2011/09/best-practices-report-q4-big-data-analytics.aspx?tc=page0&tc=assetpg&m=1>
- Saputra, D. M., Saputra, D., & Oswari, L. D. (2019). Effect of Distance Metrics in Determining K-Value in KMeans Clustering Using Elbow and Silhouette Method. *Advances in Intelligent Systems Research, Proceedings of the Sriwijaya International Conference on Information Technology and Its Applications (SICONIAN 2019)*(172).
- Safaei, A.S., Heidarpour, F., Paydar, M.M., 2018. Group purchasing organization design: a clustering approach. *Comput. Appl. Math.* 37, 2065–2093. <https://doi.org/10.1007/s40314-017-0439-8>
- Savaş, S., Topaloğlu, N., & Yılmaz, M. (2012). Veri Madenciliği Ve Türkiye'deki Uygulama Örnekleri. 23.
- Shobha, N., & Asha, T. (2017). Monitoring weather based meteorological data: Clustering approach for analysis. *2017 International Conference on Innovative Mechanisms for Industry Applications (ICIMIA)*, 75-81.
- Tiwari, S., H.M. Wee, and Y. Daryanto. 2018. Big data analytics in supply chain management between 2010 and 2016: Insights to industries. *Computers and Industrial Engineering* 115: 319-330. <https://doi:10.1016/j.cie.2017.11.017>
- Verlinden, B., J.R. Duflou, P. Collin, and D. Cattrysse. 2008. Cost estimation for sheet metal parts using multiple regression and artificial neural networks: A case study. *International Journal of Production Economics* 111(2): 1, 2008): 484–92. <https://doi:10.1016/j.ijpe.2007.02.004>
- Qing, H., Zhang, J., Fu, D., 2021. Data Mining Technology in Business Data Analysis. *J. Phys. Conf. Ser.* 1852, 022045. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1852/2/022045>
- Wang, X., & Xu, Y. (2019). An improved index for clustering validation based on Silhouette index and Calinski-Harabasz index. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 569(5), 052024.
- Zhao, C., Johnsson, M., He, M., 2017. Data Mining with Clustering Algorithms to Reduce Packaging Costs: A Case Study: Data mining approaches to reduce package costs: a case study. *Packag. Technol. Sci.* 30, 173–193. <https://doi.org/10.1002/pts.2286>



DESIGN AND APPLICATION OF IoT BASED WEATHER STATION FOR HIGH VOLTAGE LABORATORIES

Celal Fadil KUMRU^{1*}, Muzaffer Samed VURAL¹

¹ Suleyman Demirel University, Engineering Faculty, Department of Electrical-Electronics Engineering, Isparta, Türkiye

Keywords

*Internet of Things
Weather Station,
High Voltage Measurement,
Spherical Electrodes,
Raspberry Pi.*

Abstract

This study presents the design and implementation of an internet of things (IoT) based weather station for high voltage laboratories using the Raspberry Pi 4 Model B and two BME680 sensors. The weather station calculates the relative air density and humidity correction coefficients using the temperature, pressure, and relative humidity data obtained from the sensors. The study investigates the effect of the constant and real-time calculation of these coefficients on the measurement of AC, DC and lightning breakdown voltage using spherical electrodes. Measurements were performed within a laboratory setting for a period of 12 hours, and the obtained results were subsequently compared. The findings reveal that the real time calculation of the correction coefficients leads to a reduction in measurement errors. The study also includes the development of a web-based user interface using HTML and CSS, which is hosted on the Raspberry Pi 4 using the Flask web framework. This interface allows users to access the weather station data from any device with a web browser and provides real-time monitoring of the current coefficients, as well as the capability to calculate actual parameters online.

YÜKSEK GERİLİM LABORATUVARLARI İÇİN İOT TABANLI HAVA İSTASYONU TASARIMI VE UYGULAMASI

Anahtar Kelimeler

*Nesnelerin İnterneti,
Hava İstasyonu,
Yüksek Gerilimde Ölçme,
Küresel Elektrotlar,
Raspberry Pi.*

Öz

Bu çalışma, Raspberry Pi 4 Model B ve iki adet BME680 sensör kullanılarak yüksek gerilim laboratuvarları için nesnelerin interneti (IoT) tabanlı bir hava istasyonunun tasarımını ve uygulamasını sunmaktadır. Hava istasyonu, sensörlerden elde edilen sıcaklık, basınç ve bağıl nem verilerini kullanarak bağıl hava yoğunluğunu ve nem düzeltme katsayılarını hesaplamaktadır. Çalışma, bu katsayıların sabit ve gerçek zamanlı hesaplanmasının, küresel elektrotlar kullanılarak ölçülen AC, DC ve yıldırım delinme gerilimi üzerindeki etkisini araştırmaktadır. Laboratuvar ortamında 12 saat boyunca ölçümler gerçekleştirilmiş ve sonrasında sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bulgular, düzeltme katsayılarının anlık hesaplanmasının ölçme hatalarını önemli ölçüde azalttığını göstermektedir. Çalışma ayrıca Flask web çerçevesi kullanılarak Raspberry Pi 4 üzerinde barındırılan HTML ve CSS kullanılarak web tabanlı bir kullanıcı ara yüzünün geliştirilmesini de içermektedir. Bu ara yüz, kullanıcıların bir web tarayıcısı ile herhangi bir cihazdan hava istasyonu verilerine erişmesine olanak tanımakta ve mevcut katsayıların gerçek zamanlı izlenmesinin yanı sıra gerçek parametreleri çevrimiçi olarak hesaplama imkanı sağlamaktadır.

Alıntı / Cite

Kumru, C.F., Vural, M.S (2023). Design and Application of Iot Based Weather Station for High Voltage Measurements, Journal of Engineering Sciences and Design, 11(3), 1190-1201.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

C.F. Kumru, 0000-0003-4248-6355
M.S. Vural, 0009-0005-8899-3207

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	01.05.2023
Revizyon Tarihi / Revision Date	29.06.2023
Kabul Tarihi / Accepted Date	08.08.2023
Yayın Tarihi / Published Date	28.09.2023

* İlgili yazar / Corresponding author: celalkumru@sdu.edu.tr, +90-246-211-1367

DESIGN AND APPLICATION OF IoT BASED WEATHER STATION FOR HIGH VOLTAGE LABORATORIES

Celal Fadil Kumru^{1†}, Muzaffer Samed Vural¹

¹ Suleyman Demirel University, Engineering Faculty, Department of Electrical-Electronics Engineering, Isparta, Türkiye

Highlights

- IoT based weather station is an practical tool for real-time measurement of ambient conditions.
- Real time calculation of correction factors increase measurement accuracy in HV measurement.
- Designing a user interface enables real-time remote monitoring of ambient conditions.

Graphical Abstract

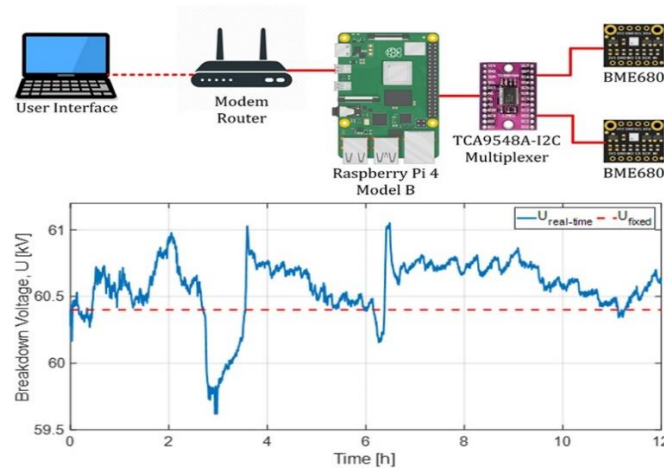


Figure. Graphical Abstract

Purpose and Scope

The objective of this study is to demonstrate that employing an IoT-based weather station to perform real-time calculation of correction coefficients used in HV measurements can effectively reduce measurement errors.

Design/methodology/approach

The weather station includes four hardware units which are one central control (Raspberry Pi 4) unit, one I2C multiplexer (TCA9548A) unit, and two sensor (BME680) units. A 12-hour duration measurement was carried out in the laboratory environment using the IoT-based weather station. The comparative analysis was conducted between real-time and constant correction coefficients. Additionally, a web-based user interface has been developed to enable access to weather station data over the internet, as well as provide real-time monitoring of existing coefficients and the ability to perform online calculation of actual parameters.

Findings

The correction coefficients calculated in real-time by the designed IoT-based weather station resulted in a significant reduction of the relative error observed in AC, DC, and lightning impulse voltage measurements utilizing spherical electrodes.

Practical implications

The weather station developed in this study aids in reducing the error rate in breakdown voltage measurements conducted in high voltage laboratories. Furthermore, the developed web interface facilitates real-time monitoring of ambient conditions and practical computation of correction coefficients.

Originality

The original contributions of this study are the utilization of an IoT-based weather station in high voltage laboratories, the implementation of real-time measurements and calculations to enhance measurement accuracy, and the development of a web interface designed specifically for high voltage laboratories.

[†] İlgili yazar/Corresponding author: celalkumru@sdu.edu.tr, +90-246-211-1367

1. Introduction

Weather conditions play a crucial role in many fields of life, such as industry, agriculture, breeding, production, and health. Even small changes in ambient conditions like temperature, humidity, and pressure can have a direct impact on work and measurements. As a result, weather stations have been developed over the years to monitor and forecast weather conditions (Susmitha & Sowya Bala, 2014). These stations typically contain analog or digital sensors that measure temperature, humidity, pressure, wind speed, and solar radiation data. However, the type and number of sensors, as well as the data recording and monitoring methods, vary depending on the application area (Jayasuriya et al., 2018; Purnima & Reddy, 2012; Sulaiman et al., 2019). For example, a weather station design study conducted by (Savic & Radonjic, 2016) utilized Raspberry Pi 3 Model B as the programmable central control unit, DHT11 (temperature and humidity sensor) and BMP180 (pressure and humidity sensor) as sensors. They designed an Android application to monitor the measured temperature, humidity, and pressure information of the environment at the realized weather station via Android devices. In another low-cost Internet of Things (IoT)-enabled weather station design work by (Singh et al., 2020), NodeMCU firmware was used as a programmable central control unit, and Thingspeak Server was used to monitor the measured wind speed, wind direction, temperature, humidity, and pressure information of the environment.

Weather stations also have applications for specific areas or studies in literature such as agricultural activities by (Math & Dharwadkar, 2017), groundwater charge prediction carried out by (Holländer et al., 2016) and applied glaciology research carried out by (Citterio et al., 2015). Additionally, weather stations are extensively employed in laboratories, particularly those dedicated to education, research, and accreditation, as precise measurement accuracy is imperative in these areas (Iswanto et al., 2020). Variations in ambient conditions have the potential to compromise the measurement accuracy of physical quantities, leading to low sensitivity or erroneous measurements. Thus, to ensure high precision, real-time monitoring of ambient conditions is crucial. High voltage (HV) laboratories represent a domain where ambient conditions play a significant role in measurement accuracy (Bruce, 1947). The discharge principle in gases is utilized to measure alternative, direct, and impulse voltages using spherical electrode systems in HV laboratories. The sphere gap technique is considered to be the most dependable method for assessing HV and also serves as a calibration equipment. The measurement apparatus employs a gas-gap, commonly air, separating two metallic spheres, and the applied voltage is gradually increased until a breakdown occurs. The breakdown strength of the gas within the gap is reliant upon a multitude of factors, including the spheres' dimensions, polarity, surface condition and separation distance. In addition, breakdown voltage in a given gap configuration is influenced by the density of the air (Hauschild & Lemke, 2018). Ambient temperature, pressure and humidity directly affect air density and therefore, it is necessary to compensate for any change in the air density by using a weather station. However, utilizing commercial weather stations for collecting ambient condition data may not always be a viable option. While measurement data is typically transmitted to data loggers in such weather stations, such loggers are often not remotely accessible, and require the purchase of a separate communication unit that can transfer data via a GSM/GPRS channel to the manufacturer's website. While the collected data can be accessed via the internet, the option of on-line monitoring may not be available. Furthermore, additional costs may be incurred for GPRS communication and for accessing data through the manufacturer's website. Due to these aforementioned factors, the development of an affordable and open-source weather station that is tailored to meet the specific requirements of users is of significant importance. Moreover, the proposed weather station holds significance in terms of its measurement technique, as it possesses the potential to enhance the accuracy of measurements conducted within high voltage laboratories. The present study involves the development and implementation of an open-source weather station that utilizes Raspberry Pi to enable real-time monitoring of environmental conditions within HV laboratories. The system is equipped with the capability to calculate the relative air density and humidity correction coefficient in real-time. To evaluate the system's performance, measurements were conducted for a duration of 12 hours using the weather station, with the aim of assessing the impact of changes in ambient conditions on laboratory measurements. The findings indicate that measurement error rates are relatively higher when ambient conditions are not measured in real-time. Additionally, a web-based user interface has been developed as part of this study to enable access to weather station data over the internet, as well as provide real-time monitoring of existing coefficients and the ability to perform online calculation of actual parameters. The second section of this study provides a detailed overview of the developed weather station, as well as the measurement technique employed with spherical electrodes. Subsequently, the results obtained from laboratory measurements are presented and analyzed in the third section, while the fourth and final section highlights the key features and contributions of this study.

2. Methodology

In the study, a functional, reliable, and low-cost IoT based weather station design has been carried out using Raspberry Pi 4 Model B with two BME680 (temperature, humidity and pressure) sensors for using in HV

laboratories. The Methodology section is organized into three subheadings, namely, weather station, correction coefficients, and user interface design.

2.1 Weather Station

Figure 1 illustrates the schematic diagram of the weather station that has been designed. The weather station includes two BME680 sensors to collect weather data such as temperature, pressure and relative humidity, a TCA9548A I2C multiplexer in order to connect two identical BME680 sensors to Raspberry Pi 4 using a single I2C bus without I2C address conflict and Raspberry Pi 4 to process the BME680 measurement data and host the web-based user interface. To enhance the measurement accuracy, the averaging of temperature, pressure, and humidity data collected from two sensors are presented.

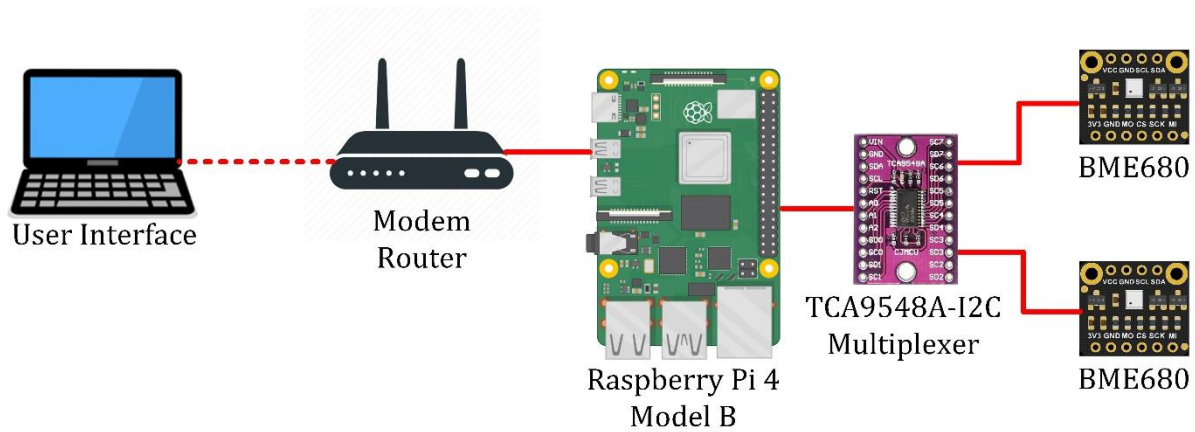


Figure 1. Schematic diagram of designed weather station

The BME680 sensor is a four-in-one digital environmental sensor that measures air quality, temperature, humidity, and barometric pressure. It features a high accuracy and low power consumption, making it suitable for various devices and applications. BME680 sensor incorporates a MEMS (Micro-Electro-Mechanical System) sensor that provides accurate temperature, humidity, and barometric pressure readings. The sensor communicates with microcontrollers and other host devices through the I2C and SPI interfaces, and it features a configurable interrupt system that allows for real-time alerts based on threshold values for any of the measured parameters. BME680 sensor also features a configurable oversampling rate for each of the measured parameters, allowing for a trade-off between accuracy and power consumption. Due to the cost-effectiveness and ease-of-use of the BME680 sensor, it was employed in this investigation for the purpose of monitoring the temperature, pressure and humidity levels within the laboratory environment. The BME sensor family represents a comprehensive set of sensors ideally suited for the targeted application, offering the capability to measure ambient temperature, relative humidity, and barometric pressure. Due to the technical limitations inherent in digital humidity and temperature (DHT) and barometric pressure (BMP) sensor families, employing a single sensor from either family alone is unfeasible for the current application. To fulfill the measurement requirements, it becomes necessary to incorporate an external sensor to supplement DHT or BMP sensor family. While this approach is disregarded in certain applications, it is deemed unfavorable in this study, as it entails an undesirable increase in the size of the sensor board design when multiple sensors are employed. Furthermore, the interaction between sensors, both thermally and electromagnetically, on the sensor board may give rise to measurement errors. Technical specifications of BME680 is given in Table 1 (Gas Sensor BME680, 2023).

Table 1. Technical Specifications of BME680 Sensor

Specifications	Temperature (°C)	Pressure [hPa]	Humidity (%RH)
Operating range	-40 - 85	300 - 1100	0 - 100
Accuracy	±0.5	±0.6	±3
Sensitivity	0.01	0.0018	0.008

In the study, the I2C communication protocol is chosen to connect BME680 sensors to the Raspberry Pi 4. However, in the I2C communication protocol, each device connected to the same I2C bus must have a unique I2C address. Since the two BME680 sensors are identical, both use the 0x77 I2C address by default. Therefore, a TCA9548A I2C multiplexer is used to avoid I2C address conflict. The weather station includes a total of four hardware units which are one central control (Raspberry Pi 4) unit, one I2C multiplexer (TCA9548A) unit, and two sensor (BME680)

units. Upon completion of the design phases, the weather station was implemented, and the final version is depicted in Figure 2.

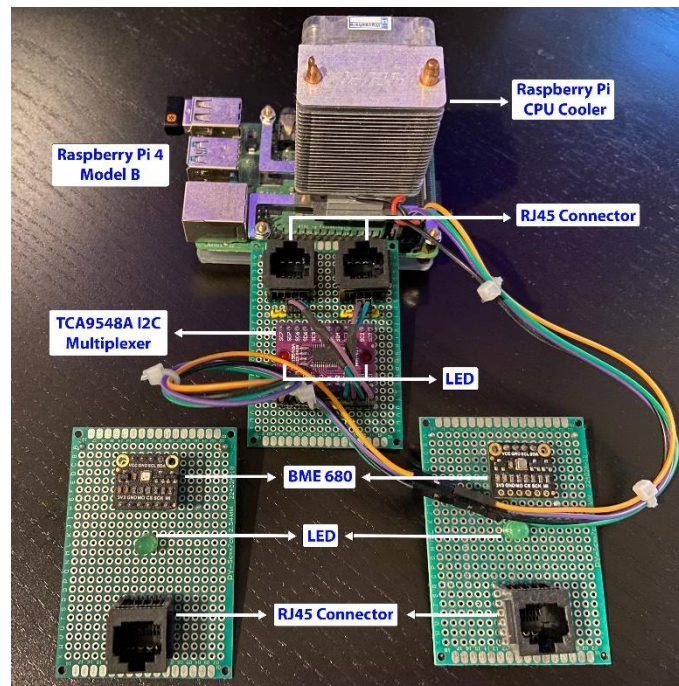


Figure 2. IoT based weather station designed for HV laboratories

2.2 Correction Coefficients

In high voltage engineering, the breakdown voltage of air is an important parameter to determine the performance of insulation systems. The measurement of breakdown voltage is usually performed by applying a gradually increasing voltage to a pair of electrodes until electrical breakdown occurs in the gap between them. The most commonly used electrode configuration for measurement of HVs is sphere-sphere configuration. A typical representation of sphere-sphere electrode in horizontal configuration is given in Figure 3.

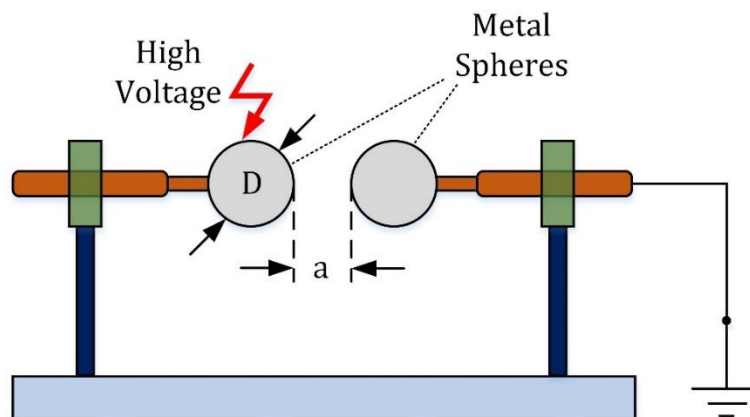


Figure 3. Sphere-sphere electrodes in horizontal configuration with one sphere grounded used for HV measurements

The sphere electrode is preferred over other shapes due to its ability to produce uniform electric fields and reduce surface effects. The measurement of breakdown voltage using a spherical electrode is often used in high voltage testing because it allows for accurate and reliable measurements. The breakdown voltage can be affected by various factors such as the humidity, pressure, and temperature of the air as well as diameter (D) and distance between the spheres (a). Therefore, it is important to measure these environmental parameters accurately and correct the measured values of breakdown voltage for their effects. Breakdown voltage of the gap is calculated as in Equation 1 (IEC, 2010).

$$U = \frac{\delta}{k} \cdot U_0 \tag{1}$$

Here, U represents the breakdown voltage under actual conditions, while U_0 denotes the breakdown voltage under reference ambient conditions. Furthermore, δ signifies the relative air density, and k represents the humidity correction coefficient. According to IEC60060-1, standard reference atmospheric conditions specified as follows:

- Temperature, $T_0=20\text{ }^\circ\text{C}$ (273 °K)
- Absolute air pressure, $p_0=1.013\text{ hPa}$ (760 mmHg)
- Absolute humidity, $h_0=11\text{ g/m}^3$

Within the literature, tables have been presented detailing breakdown voltages (U_0) for various sphere diameters and electrode gaps under reference ambient conditions. These values have been incorporated into the Raspberry Pi system, thereby enabling users to perform calculations through the web interface. However, for non-standard ambient conditions, it is imperative to determine both the relative air density and humidity correction coefficient to obtain the actual breakdown voltage value. The relative air density is defined as the ratio of the ambient air density and the density of dry air at a standard temperature and pressure, as expressed in Equation 2.

$$\delta = \frac{p}{p_0} \cdot \frac{273 + T_0}{273 + T} \quad (2)$$

The weather station design initially computes the relative air density through the utilization of temperature and pressure measurements from the sensor array. Subsequently, the humidity correction coefficient is established through a two-step process, whereby the absolute humidity (h) is first calculated based on the ambient temperature and relative humidity (RH) data, after which the humidity correction coefficient is subsequently determined.

$$h = \frac{RH \cdot P_s}{R_w \cdot T \cdot 100} \quad (3)$$

In Equation 3, P_s is the saturation vapor pressure in Pa, R_w is specific gas constant for water vapor equals to 461.5 J/kg.K and T is the temperature measured in Kelvin. According to the equation proposed by Wagner and Pruss, the saturation vapor pressure of water at a given temperature T can be written as,

$$P_s = P_c \cdot \exp \left[\frac{T_c}{T} (a_1 \cdot \tau + a_2 \cdot \tau^{1.5} + a_3 \cdot \tau^3 + a_4 \cdot \tau^{3.5} + a_5 \cdot \tau^4 + a_6 \cdot \tau^{7.5}) \right] \quad (4)$$

$$\tau = 1 - \frac{T}{T_c}$$

where P_c is critical vapor pressure for water equals to 22.064 MPa, T_c is critical temperature for water equals 647.096 °K, from a_1 to a_6 are empirical constants whose values are $a_1=-7.85951783$, $a_2= 1.84408259$, $a_3=-11.7866497$, $a_4= 22.6807411$, $a_5= -15.9618719$ and $a_6= 1.80122502$. Following the calculation of absolute humidity, humidity correction factor k can be obtained as a function of the ratio of absolute humidity to the relative air density, for different type of voltages as given in Equation 5 (IEC, 2010)..

$$\begin{aligned} k &= 1 + 0.014 \left(\frac{h}{\delta} - 11 \right) - 0.00022 \left(\frac{h}{\delta} - 11 \right)^2, & 1\text{ g/m}^3 < \frac{h}{\delta} < 15\text{ g/m}^3, & \text{DC} \\ k &= 1 + 0.012 \left(\frac{h}{\delta} - 11 \right), & 1\text{ g/m}^3 < \frac{h}{\delta} < 15\text{ g/m}^3, & \text{AC} \\ k &= 1 + 0.010 \left(\frac{h}{\delta} - 11 \right), & 1\text{ g/m}^3 < \frac{h}{\delta} < 20\text{ g/m}^3, & \text{Lightning Impulse (LI)/Switching Impulse (SI)} \end{aligned} \quad (5)$$

2.3 User Interface Design

The obtained data, both measured and computed, are transmitted to the internet via a modem and can be accessed through the designated user interface. Figure 4 displays the web interface designed for real-time monitoring of the ambient conditions and the correction factors.

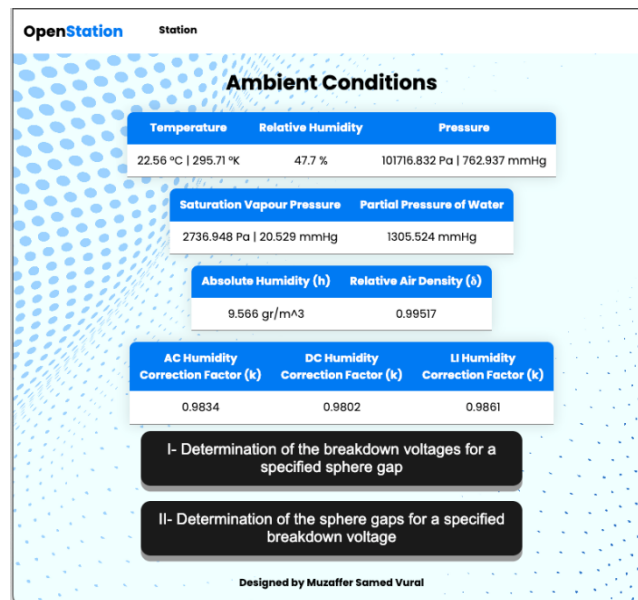


Figure 4. User interface designed for monitoring sensor data and correction coefficients

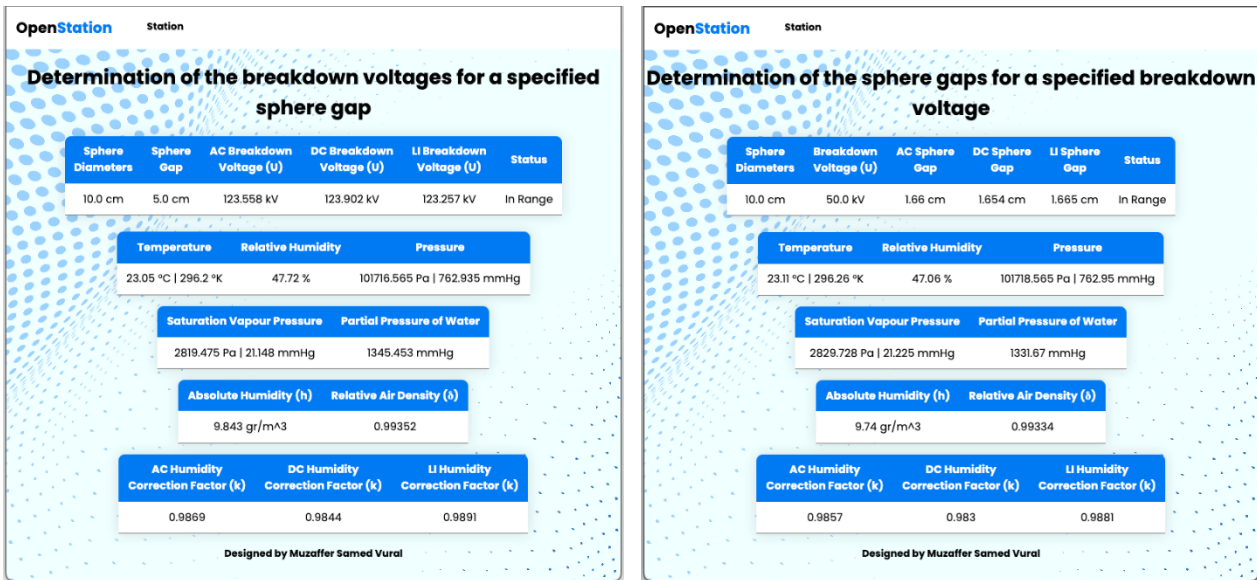
In addition to the interface for ambient conditions, the user has the capability to execute two distinct calculations as shown in Figure 4:

- Determination of Breakdown Voltages for a Specific Sphere Gap:** In this option, the user selects a specific gap between the spheres, and the corresponding AC, DC and LI/SI breakdown voltage values are then determined accordingly due to the ambient conditions.
- Determination of Sphere Gap for a Specific Breakdown Voltage:** The user specifies a particular breakdown voltage value and the distances between the spheres for AC, DC or LI/SI are then calculated to meet this value considering the ambient conditions.

In both options, the user is initially asked to provide sphere diameter and breakdown voltage (Option-I) or sphere gap (Option-II) information as input. These two parameters are then compared via Equation 6 to ensure that the sphere diameter is suitable for the specified breakdown voltage (I) or sphere gap (II). In the event that the sphere diameter is inadequate, the interface generates an error notification and prompts the user to enter new data that satisfies the conditions stipulated by Equation 6.

$$\begin{aligned} U(kV) &= D(mm) \\ a(mm) &\leq 0.5 \cdot D(mm) \end{aligned} \quad (6)$$

For instance, in the Option II, provided that the user has supplied suitable values considering Equation 6, the breakdown voltage (U_0) under reference ambient conditions can be computed by applying Equation 1, which incorporates real-time correction coefficients for air density and humidity. Subsequently, the corresponding sphere gap for U_0 value is identified from a reference table. Since the calculated U_0 value is typically a non-integer quantity that lacks an exact match in the reference table, a linear variation in the voltage-sphere gap over a given interval is assumed based on the two closest U_0 values, allowing for the actual sphere gap to be calculated via interpolation. The user interface developed for both options is depicted in Figure 5.



a) b)
Figure 5. User interface designed for the calculations in a) Option-I and b) Option-II

3. Result and Discussion

Following the design and implementation of the weather station, measurements were carried out in a laboratory setting over a 12-hour period (08:00 – 20:00) to assess its efficacy in high voltage measurement calculations. A comparison was made between the breakdown voltage values obtained through fixed and real-time calculation of correction factors. While Figure 6 displays the variations in ambient temperature and pressure, Figure 7 illustrates the changes in both absolute and relative humidity measured with the designed weather station in the laboratory setting.

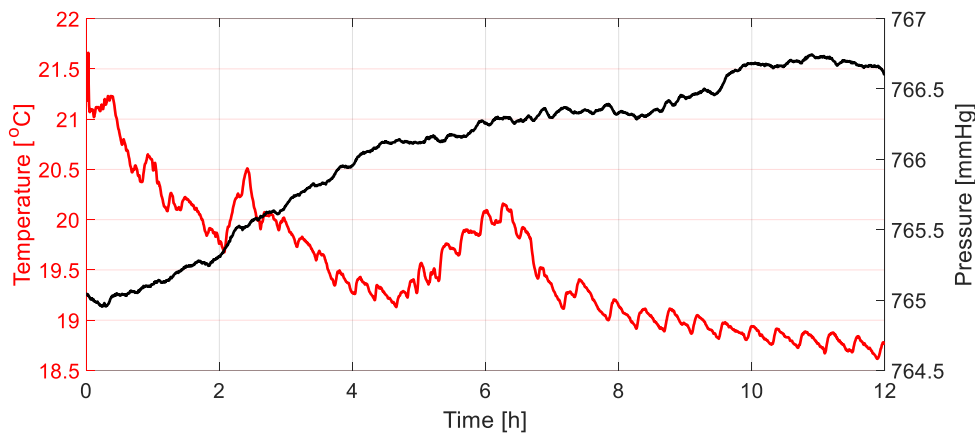


Figure 6. Temperature and pressure readings from the sensors during 12-hour period

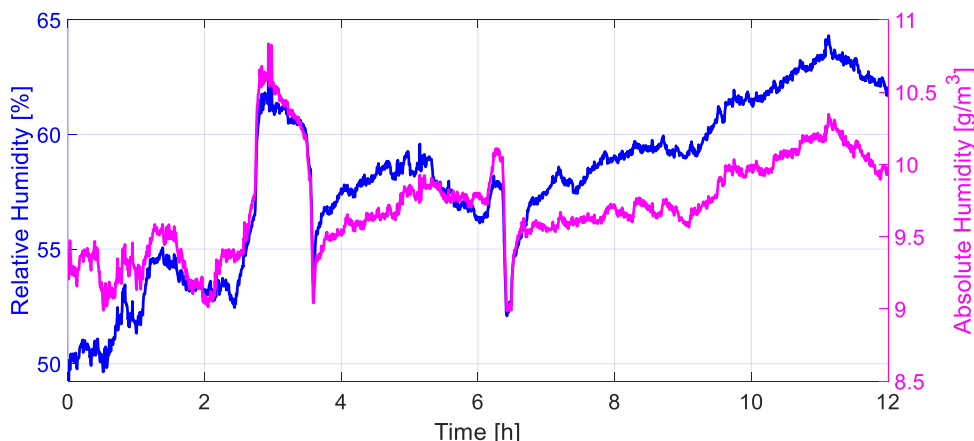


Figure 7. Relative readings from the sensors during 12-hour period

As observed from Figures 6 and 7, there was a minimal variation in ambient conditions throughout the 12-hour measurement period. Despite the use of HVAC systems to regulate ambient conditions in numerous laboratories, the ambient conditions may fluctuate within a specific range of tolerance due to various factors such as laboratory volume, HVAC capacity, thermal isolation etc. The particular sensor readings and the maximum relative change calculated over 12-hour period are presented in Table 2.

Table 2. Specific sensor readings and maximum relative changes

Sensor Readings	Minimum	Maximum	Mean	Max. Relative Change [%]
Temperature [°C]	18.615	21.66	19.517	16.36
Pressure [mmHg]	764.953	766.744	766.065	0.234
Relative humidity [%]	49.245	64.31	57.88	30.60
Absolute humidity [g/m ³]	8.9846	10.8383	9.7148	20.63

It can be inferred that the ambient temperature and humidity experienced considerable variations during the measurement period. Nevertheless, the maximum relative change in air pressure remained relatively low. The relative air density and humidity correction factors were computed based on the fluctuations in ambient conditions and are depicted in Figures 8 and 9, respectively.

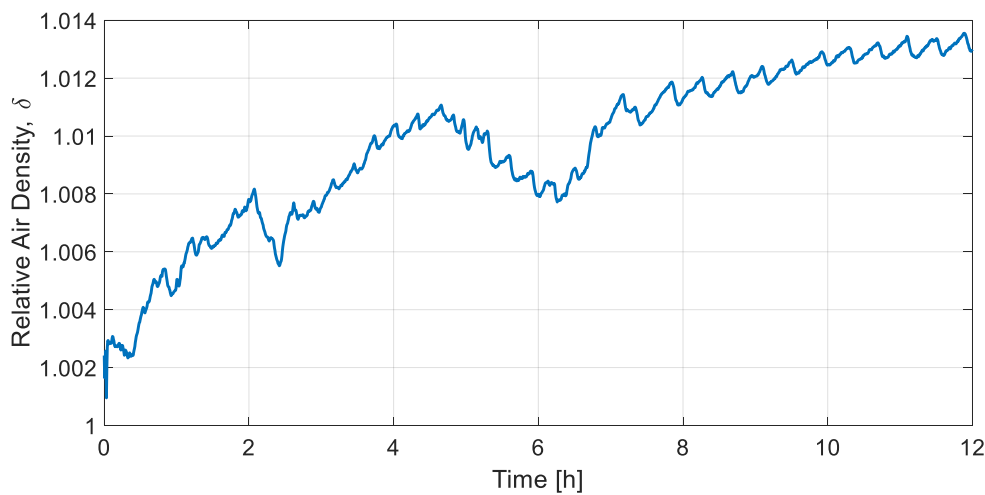


Figure 8. Calculated relative air density over a 12-hour period

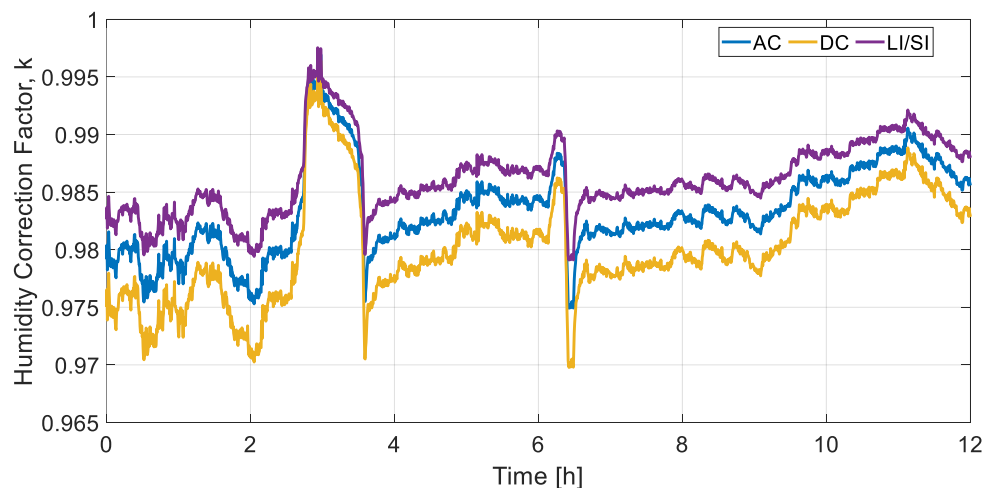


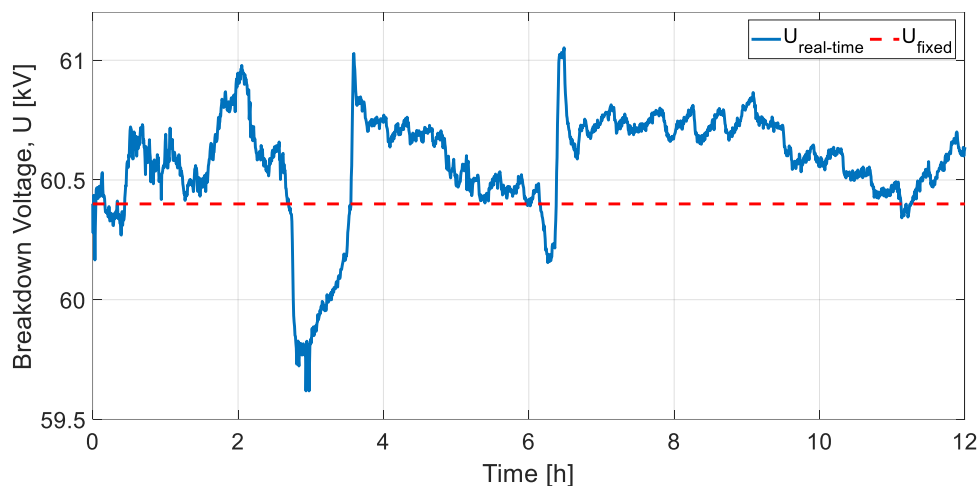
Figure 9. Calculated humidity correction factors over a 12-hour period

Relative air density is a variable that relies on both temperature and pressure. Hence, the pattern of relative air density over a 12-hour period differs from the temperature or pressure variation shown in Figure 6. However, a comparison of Figures 7 and 9 reveals a clear linear correlation between the humidity correction factor and absolute or relative humidity. These modifications to the coefficients will result in variations in the breakdown voltage value according to Equation 1. A sample calculation scenario has been performed to demonstrate the magnitude of this change clearly. Assuming a user intends to determine AC breakdown voltage employing spherical electrodes, they would measure the laboratory ambient conditions at t=0s.

Table 3. Ambient conditions and correction factors at $t=0$ s

Sensor Readings	Value
Temperature [$^{\circ}\text{C}$]	21.23
Pressure [mmHg]	765.034
Relative humidity [%]	50
Absolute humidity [g/m^3]	9.2864
Relative air density, δ	1.00241
Humidity correction factor, k	0.97917

Subsequently, the user would calculate the correction coefficients with the acquired measurements and assume these coefficients remain constant for 12 hours. Table 3 outlines the values measured and calculated by the user at $t=0$ s. The user intends to compute the breakdown voltage for the case where the sphere gap is 2 cm and the sphere diameter is 12.5 cm. The reference tables provide a breakdown voltage value (U_0) of 59 kV for this setup. Utilizing Equation 1, the user has calculated a laboratory breakdown voltage value (U) of 60.4 kV by considering the current ambient conditions. However, if the user were to perform this calculation over a period of time using fixed coefficients, a calculation error would occur due to the varying correction coefficients, which are dependent on environmental conditions. Figure 10 demonstrates the variation in breakdown voltage over time when using fixed and real-time computed correction coefficients (δ and k).

**Figure 10.** Variation in breakdown voltage using fixed and real-time computed correction coefficients

Based on the results presented in Figure 10, assuming the correction coefficients δ and k as constant by calculating them at the initial moment, leads to errors in the breakdown voltage calculations. After about three hours from the initial moment, the breakdown voltage value was found to be 59.619 kV due to the changing ambient conditions. If the changes in ambient conditions are not considered, the absolute relative error value within the specified time interval reaches a maximum of 1.31%. According to Equation 5, it is evident that the correction factor for humidity is also impacted by the waveform of the voltage to be measured. Consequently, breakdown voltage and the relative error rates will differ based on the type of voltage waveform. Relative error values for AC, DC, and LI/SI voltage waveforms, given the specified conditions, have been calculated and presented in Figure 11.

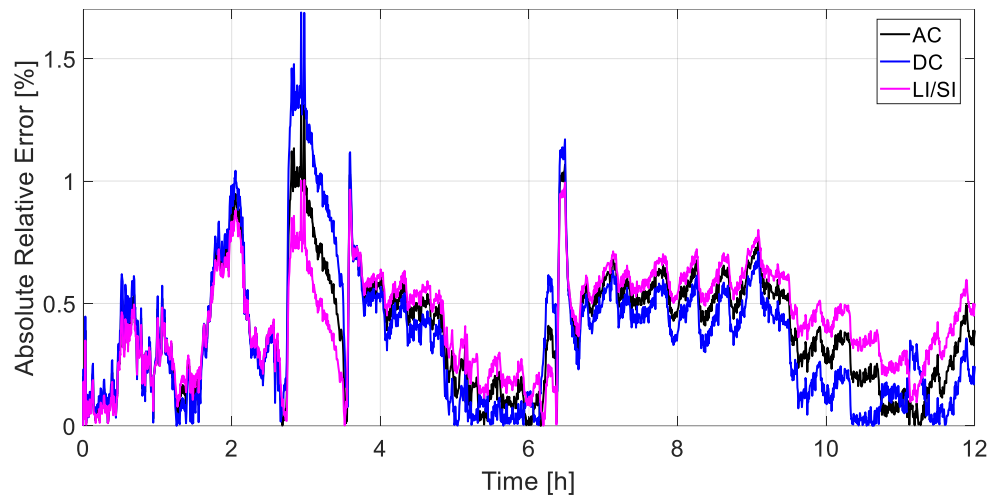


Figure 11. Variation in absolute relative error for breakdown voltage

When comparing the relative error rates of various waveforms under the same conditions, it is observed that DC voltage measurements exhibit the highest relative error. In contrast, impulse voltage measurements have the lowest relative error rate. While the relative error rates obtained in this study are relatively low, they have the potential to reach significant levels. Considerable changes in the environmental conditions of the laboratory can increase measurement errors. Additionally, the magnitude of the voltage to be measured, the sphere diameter, and the distance between the spheres are parameters that directly impact measurement errors. For this reason, inaccurate measurements or calculations of ambient conditions and correction factors can result in significant errors in the measurement of the breakdown voltage, leading to incorrect results and conclusions.

4. Conclusion

This study describes the development and deployment of an open-source weather station that employs Raspberry Pi to enable the real-time monitoring of environmental conditions within HV laboratories. The system is equipped with real-time calculation capabilities for the relative air density and humidity correction factor. To assess the performance of the system, a series of measurements were conducted over a 12-hour duration using the weather station. Furthermore, a web-based interface has been constructed to grant access to weather station data through the internet. This interface allows for real-time observation of current coefficients and permits online computation of actual parameters. The findings revealed that the real-time monitoring and calculation of environmental conditions and correction coefficients significantly mitigates the relative error rate in the measurement of breakdown voltage with spherical electrodes. Moreover, the measurements were carried out utilizing the designed weather station across multiple days and distinct time intervals, revealing the consistent repeatability of the recorded measurements. It is equally important to utilize weather stations with similar characteristics to minimize the measurement errors in all discharge-related measurements that occur in gaseous medium, such as surface discharge, internal discharge, corona, and others. Particularly, the utilization of a weather station that provides real-time correction coefficients in long-term measurements such as artificial ageing will enhance the precision of the results.

Acknowledgement

This study was supported by the Scientific and Technological Research Council of Turkey (TUBITAK) within the scope of project 2209-A, 1919B012110062.

Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

References

- Bruce, F. M. (1947). Calibration of uniform-field spark-gaps for high-voltage measurement at power frequencies. *Journal of the Institution of Electrical Engineers - Part II: Power Engineering*, 94(38), 138–149.
- Citterio, M., Van As, D., Ahlstrøm, A. P., Andersen, M. L., Andersen, S. B., Box, J. E., Charalampidis, C., Colgan, W. T., Fausto, R. S., Nielsen, S., & Veicherts, M. (2015). Automatic weather stations for basic and applied glaciological research. *Geological Survey of Denmark and Greenland Bulletin*, 33(JUNE), 69–72.
- Hauschild, W., & Lemke, E. (2018). High-Voltage test and measuring techniques. In *High-Voltage Test and Measuring Techniques*.

- Holländer, H. M., Wang, Z., Assefa, K. A., & Woodbury, A. D. (2016). Improved Recharge Estimation from Portable, Low-Cost Weather Stations. *Groundwater*, 54(2), 243–254.
- Iswanto, Megantoro, P., & Pramudita, B. A. (2020). IoT-based weather station with python user interface for measurement technique of educational purpose. *AIP Conference Proceedings*, 2296.
- Jayasuriya, Y. P., Elvitigala, C. S., Wamakulasooriya, K., & Sudantha, B. H. (2018). Low Cost and IoT Based Greenhouse with Climate Monitoring and Controlling System for Tropical Countries. *2018 International Conference on System Science and Engineering, ICSSE 2018*.
- Math, R. K., & Dharwadkar, N. V. (2017). A wireless sensor network based low cost and energy efficient frame work for precision agriculture. *2017 International Conference on Nascent Technologies in Engineering, ICNTE 2017 - Proceedings*, 0–5.
- Purnima, P., & Reddy, S. R. N. (2012). Design of Remote Monitoring and Control System with Automatic Irrigation System using GSM-Bluetooth. *International Journal of Computer Applications*, 47(12), 6–13.
- Savic, T., & Radonjic, M. (2016). One approach to weather station design based on Raspberry Pi platform. *2015 23rd Telecommunications Forum, TELFOR 2015*, 623–626.
- Singh, D. K., Jerath, H., & Raja, P. (2020). Low cost IoT enabled weather station. *Proceedings of International Conference on Computation, Automation and Knowledge Management, ICCAKM 2020*, 31–37.
- Sulaiman, A., Dan, M., Alam, S., & Garden, A. S. (2019). An IoT-based Smart Garden with Weather Station System. *2019 IEEE 9th Symposium on Computer Applications & Industrial Electronics (ISCAIE)*, 38–43.
- Susmitha, P., & Sowya Bala, G. (2014). Design and Implementation of Weather Monitoring and Controlling System. *International Journal of Computer Applications*, 97(3), 19–22.



FOTOKİMYASAL İLERİ OKSİDASYON PROSESLERİ İLE FLOROKİNOLON GRUBU ANTİBİYOTİKLERİN GİDERİM VERİMLERİNİN ARAŞTIRILMASI VE TOKSİSİTELERİNİN DEĞERLENDİRMESİ

Hande GÜLCAN¹, Nergis DİLSİZOĞLU AKYOL¹, Ceyhun AKARSU^{2*}, Tuğba OLMEZ HANCI¹

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

² İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

Anahtar Kelimeler Öz

*Florokinolon,
Persülfat,
Mikrokirletici,
Aliivibrio fischeri,
Su arıtımı.*

Son yıllarda, ileri oksidasyon prosesleri, ilaç etken maddelerinin su ve atıksulardan uzaklaştırılmasında umut verici yöntemler olarak öne çıkmaktadır. Bu deneysel çalışmada, siprofloksasinin etkin bir şekilde arıtımını sağlamak amacıyla sülfat radikali bazlı fotokimyasal ileri oksidasyon prosesleri olan persülfat/UV-C (PS/UV-C) ve persülfat/UV-A (PS/UV-A) yöntemlerinin uygulanabilirliği araştırılmıştır. PS/UV-C prosesinde, 0,05 mM PS dozunda ve 120 dakikalık reaksiyon süresinde %98 giderim verimi elde edilirken, 0,1 mM ve 0,25 mM dozlarında, %100 giderim verimi 60 dakikalık süre içerisinde sağlanmıştır. PS/UV-A prosesi ise, tüm PS konsantrasyonları için %88 ile %92 aralığında giderim verimleri göstermiştir. Optimum koşullar altında su matrisinin proses verimine olan etkisini değerlendirmek amacıyla, yüzeysel su örneklerinde siprofloksasin giderim verimi araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, yüzeysel su örneklerinin kullanıldığı durumlarda siprofloksasinin tamamen giderilmesi için gereken sürenin sentetik numunelerin arıtımı için gerekli süreye kıyasla yüksek olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca, deneyler başlangıç pH değerinin proses verimi üzerinde önemli bir etkisi olmadığı göstermiştir. Toksikite analizleri, *Aliivibrio fischeri* üzerinde herhangi bir inhibisyon etkisi olmadığını göstermiştir. Bu bulgular, PS/UV-C prosesinin siprofloksasin gibi ilaç etken maddelerinin arıtımı için umut vadeden bir yöntem olduğunu göstermektedir.

ASSESSMENT OF REMOVAL EFFICIENCIES AND TOXICITY OF FLUOROQUINOLONE GROUP ANTIBIOTICS USING PHOTOCATALYTIC ADVANCED OXIDATION PROCESSES

Keywords

*Fluoroquinolone,
Persulfate,
Micro-pollutant,
Aliivibrio fischeri,
Water treatment.*

Abstract

Advanced oxidation processes have emerged as a promising method for removing pharmaceutical compounds from water and wastewater. This experimental study investigated the feasibility of sulfate radical-based photocatalytic advanced oxidation processes, specifically persulfate/UV-C (PS /UV-C) and persulfate/UV-A (PS /UV-A), to effectively remove ciprofloxacin. In the PS /UV-C process, a dosage of 0.05 mM persulfate and a reaction time of 120 minutes resulted in a removal efficiency of 98%, while dosages of 0.1 mM and 0.25 mM achieved complete removal (100% removal efficiency) within 60 minutes. The PS /UV-A procedure resulted in removal efficiencies of 88% to 92% for all persulfate concentrations. To evaluate the influence of the water matrix on the process efficiency, the removal efficiency of ciprofloxacin was investigated in surface water samples. The results showed that the treatment time required for complete removal of ciprofloxacin was longer in surface water samples than in synthetic samples. Furthermore, the experiments showed that the initial pH had no significant effect on the process efficiency. Toxicity analysis showed no inhibitory effect on *Aliivibrio fischeri*. These results underline the promising potential of the PS /UV-C process as a method for removing active pharmaceutical ingredients such as ciprofloxacin.

Alıntı / Cite

Akarsu C., Gülcan H., Dilsizoğlu Akyol N., Ölmez Hancı T. (2023). Fotokimyasal İleri Oksidasyon Prosesleri ile Florokinolon Grubu Antibiyotiklerin Giderim Verimlerinin Araştırılması ve Toksikiteilerinin Değerlendirmesi. *Mühendislik ve Tasarım Dergisi*. 11(3). 1202-1212.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

C. Akarsu, 0000-0002-0168-9941
H. Gülcan, 0000-0001-9200-5420
N. Dilsizoğlu Akyol, 0000-0002-1850-9070
T. Ölmez Hancı, 0000-0001-9200-5420

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	21.06.2023
Revizyon Tarihi / Revision Date	11.08.2023
Kabul Tarihi / Accepted Date	11.08.2023
Yayın Tarihi / Published Date	28.09.2023

* İlgili yazar/ Corresponding author: ceyhunakarsu@iuc.edu.tr, +905382389570

ASSESSMENT OF REMOVAL EFFICIENCIES AND TOXICITY OF FLUOROQUINOLONE GROUP ANTIBIOTICS USING PHOTOCATALYTIC ADVANCED OXIDATION PROCESSES

Hande GÜLCAN¹, Nergis DİLSİZOĞLU AKYOL¹, Ceyhun AKARSU^{2†}, Tuğba OLMEZ HANCI¹

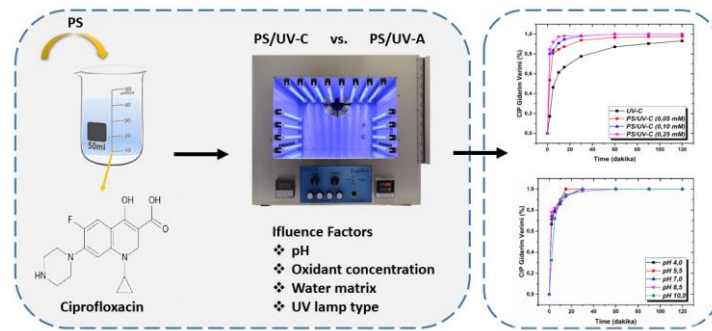
¹ İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

² İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

Highlights

- Photochemical treatment of Ciprofloxacin in surface water was studied
- Rapid and complete removal of ciprofloxacin was achieved
- Toxicity analysis showed no inhibitory effect on *Aliivibrio fischeri*
- The initial pH had no significant effect on the removal efficiency

Graphical Abstract



Şekil./Figure. PS/UV-A ve PS/UV-C ile siprofloksasin degradasyonu (Ciprofloxacin degradation by PS/UV-C and PS/UV-A)

Purpose and Scope

The main aim of this research was to investigate the feasibility of sulfate radical-based photocatalytic advanced oxidation processes, specifically persulfate/UV-C (PS /UV-C) and persulfate/UV-A (PS /UV-A), for the effective removal of ciprofloxacin, a pharmaceutical compound found in the aquatic environment.

Design/methodology/approach

To achieve the objectives, the researchers conducted an experimental study where different dosages of persulfate and varying reaction times were employed to determine the optimal conditions for removal.

Findings

The findings of the study revealed that both PS /UV-C and PS /UV-A processes were effective in removing ciprofloxacin from the water. The longer treatment time required for complete removal in surface water samples compared to synthetic samples indicated the influence of the water matrix on the process efficiency. Additionally, the results revealed that the initial pH had no significant effect on the process efficiency.

Research limitations/implications

The study suggests that advanced oxidation processes can be a viable solution for addressing the issue of pharmaceutical contamination in aquatic environments. The findings contribute to the understanding of the effectiveness of sulfate radical-based photocatalytic advanced oxidation processes in water treatment.

Practical implications

This study opens opportunities for further investigations into the application of advanced oxidation processes for removing other pharmaceutical compounds and micropollutants. Limitations of the research process could include the specific conditions and concentrations tested, which may require further exploration for different water matrices and concentrations.

Originality

The paper contributes to the scientific community, water treatment practitioners, and environmental policymakers, providing valuable information on effective strategies for the removal of ciprofloxacin and related pharmaceutical compounds from aquatic environments.

[†] İlgili yazar/ Corresponding author: ceyhunakarsu@iuc.edu.tr, +905382389570

1. Giriş (Introduction)

Son yıllarda, yüzey sularında sıkça rastlanan organik mikrokirleticiler, dünya genelinde giderek artan bir çevresel tehdit oluşturmaktadır (Barbosa vd., 2016). Bu mikrokirleticiler arasında antibiyotikler, insan ve hayvan sağlığı, gıda sektöründe besin koruması, sucul canlıların sağlığı ve gelişimi gibi birçok alanda yoğun bir şekilde kullanılmaktadır (Barbosa vd., 2016; Richards vd., 2023; Topal vd., 2015). Antibiyotiklerin biyolojik olarak zor parçalanabilirliği ve ekosisteme farklı yollardan girmeleri küresel sağlık açısından bir tehdit oluşturmaktadır. Yapılan araştırmalar bu kirleticilerin temel kaynağının atıksu arıtma tesisleri olduğunu vurgulamaktadır (Deblonde vd., 2011; Matin vd., 2023). Konvansiyonel atıksu arıtma tesisleri, organik mikrokirleticileri tamamen gidermek için yeterli donanımına sahip değildir (Luo vd., 2014). Dolayısıyla, bu tesislerden nispeten düşük konsantrasyonlarda organik mikrokirleticilerin çevreye salınması, çevresel ortamlar için risk oluşturmaktadır (Pereira vd., 2015). Su kalitesiyle ilgili artan tehditler, bu tür mikrokirleticilerin alıcı ortama ulaşmasını önleyebilmek için etkili arıtma teknolojilerinin geliştirilmesi gerekliliğine işaret etmektedir.

Son yıllarda su ve atıksu arıtma teknolojilerinin araştırılması ve geliştirilmesinde yürütülen çalışmalar, uygulanması kolay, yüksek verimli, çevreyle uyumlu ve çok çeşitli kirleticileri oksitleyebilme özelliklerinden dolayı ileri oksidasyon proseslerini ön plana çıkarmaktadır (Ma vd., 2021). Bu proseslerde spesifik olarak hidroksil radikali ($HO\cdot$), süperoksit radikaller ($O_2\cdot^-$), sülfat radikali ($SO_4\cdot^-$) ve elektron-boşluk (h^+) gibi üretilen serbest radikaller, kirleticinin bozunmasında önemli bir rol oynamaktadır (Huang ve Zhang, 2019). Bununla birlikte, gerekli asidik çevre koşullarının sağlanmasının zorluğu ve H_2O_2 dengesizliği nedeniyle $HO\cdot$ bazlı ileri oksidasyon prosesi (İOP) uygulanması kısmen sınırlı hale gelmeye başlamıştır (Liu vd., 2018).

Yukarıda belirtilen İOP'ler arasında, sülfat radikali bazlı İOP, sülfat radikallerinin ($SO_4\cdot^-$, $E_0 = 2,5-3,1$ V) hidroksil radikallerine kıyasla nispeten daha uzun yarılanma ömrüne sahip olması, dolayısıyla alıkonna süresinin uzaması ve oksidan tüketimine sebep olan safsızlıklardan daha az etkilenmesi gibi avantajları nedeniyle son zamanlarda kapsamlı olarak araştırılmaktadır (Li vd., 2019). Persülfat (PS) aktivasyonu genellikle termal, ultrases, UV radyasyonu, alkalın aktivasyonu, metal iyonu yöntemlerinden bir veya bir kaçının kullanımı ile sağlanmaktadır (Rodríguez vd., 2018). Farklı PS aktivasyon yaklaşımları ile üretilen sülfat radikalinin giderim mekanizmaları **Tablo 1**'de sunulmuştur (Xia vd., 2020).

Tablo 1. Farklı PS yaklaşımlarına ait aktivasyon yolları, ana reaksiyonlar ve giderim mekanizmaları
(The activation pathways, main reactions, and removal mechanisms of different PS approaches)

Aktivasyon Yaklaşımları	Ana Reaksiyon	Giderim Mekanizması	Kaynak
Fiziksel Aktivasyon			
Isıtma	$S_2O_8^{2-} + \text{ısı} \rightarrow 2SO_4\cdot^-$	O-O Bağının Fisyonu	Zhao vd., 2013
UV	$S_2O_8^{2-} + UV \rightarrow 2SO_4\cdot^-$	O-O Bağının Fisyonu	Yang vd., 2019
Ultrases	$S_2O_8^{2-} + 2H_2O \rightarrow HO_2\cdot + 2SO_4^{2-} + 3H^+$ $S_2O_8^{2-} + 2HO_2\cdot \rightarrow 2SO_4\cdot^- + SO_4^{2-} + H^+$ $+ O_2\cdot^-$	O-O Bağının Fisyonu & Su Molekülünün Hidrolizi	Nasseri vd., 2017
Kimyasal Aktivasyon			
Alkalın Aktivasyonu	$S_2O_8^{2-} + 2H_2O \rightarrow HO_2\cdot + 2SO_4^{2-} + 3H^+$ $S_2O_8^{2-} + 2HO_2\cdot \rightarrow 2SO_4\cdot^- + SO_4^{2-} + H^+$ $+ O_2\cdot^-$	PS'in H_2O_2 'e hidrolizi	Fernandes vd., 2018
Metal Karbon Bazlı Madde	$2H^+ + 2O_2\cdot^- \rightarrow {}^1O_2 + H_2O_2$ $S_2O_8^{2-} + M^{+n} \rightarrow M^{n+1}\cdot + SO_4^{2-} + SO_4\cdot^-$ $S_2O_8^{2-} + \text{Aktif Karbon} - OOH \rightarrow SO_4\cdot^- + \text{Aktif Karbon} - OO\cdot + HSO_4^-$	Elektron transferi Elektron transferi	Liu vd., 2019 Zhao vd., 2017

İOP'ler, su ve atıksu arıtımında geleneksel yöntemlere kıyasla bir dizi avantaja sahiptir. Bu avantajlar arasında toksisitenin azaltılması, organik ve inorganik kirleticilerin tamamen mineralize edilmesi ve seçici olmayışları nedeniyle hedef kirleticilerin yanı sıra ortamdaki diğer kirleticilerin ve bozunma ürünlerinin aynı anda giderilmesi yer almaktadır (Boczkaj ve Fernandes, 2017). Literatür araştırmaları UV/ $S_2O_8^{2-}$ prosesinin, siprofloksasinin sulu çözeltilerde etkili bir şekilde parçaladığını göstermektedir (Lin ve Wu, 2014). Bir başka çalışmada ise UV fotolitik $S_2O_8^{2-}$ aktivasyonu ile sülfametazin antibiyotiğinin giderimine etki eden parametreler değerlendirilmiştir. Çalışma neticesinde oksidant dozu ve başlangıç pH'ı gibi faktörlerin proses verimini etkilediği görülmüştür (Gao vd., 2012). Norzaee vd. (2017), UV ile aktive edilen persülfat oksidanının Penicilin G (PG) antibiyotiğini etkili bir şekilde

giderdiğini göstermiştir. Reaksiyon süresi, başlangıç pH'ı, oksidant konsantrasyonu ve kirletici konsantrasyonu gibi parametrelerin PG degradasyon verimi üzerindeki etkilerinin belirlendiği çalışmada maksimum oksidant ve reaksiyon süresinde maksimum giderim veriminin elde edildiği belirlenmiştir. Sadeghi vd. (2018), persülfatlı ve persülfatsız UV aktivasyonu ile ileri oksidasyon proseslerinde azitromisin adlı bir antibiyotik türünün giderim verimi üzerine kirletici konsantrasyonu, persülfat konsantrasyonu, pH ve temas süresinin etkisini incelemiştir. Araştırma sonucunda başlangıç koşullarının nötr pH, 5 mg/L azitromisin konsantrasyonu, 1,0 mM oksidant koşullarının optimum şartlar olduğu belirlenmiştir.

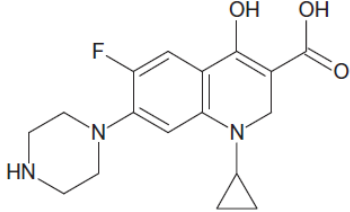
Bu çerçevede, bu araştırma makalesinde, bilimsel açıdan özgün olmaları ve bu kirletici gruplarından kaynaklanan çevresel problemlere çözüm yöntemi sunmaları nedeniyle florokinolon grubu antibiyotik olan siprofloksasinin yüzeysel sulardan giderimini sağlamak amacıyla persülfat/UV-C (PS/UV-C) ve persülfat/UV-A (PS/UV-A) gibi sülfat radikal bazlı fotokimyasal ileri oksidasyon proseslerinin uygulanabilirliği araştırılmıştır. Sentetik numuneler üzerinde yürütülen deneysel çalışmalar ile optimum giderim koşullarının tespiti gerçekleştirilmiş ve ek olarak gerçek yüzeysel su numuneleri üzerinde de yürütülen çalışmalar ile proseslerin gerçek koşullardaki verimi araştırılmıştır. Ayrıca, kirletici maddenin oksidasyonu sonucunda oluşan ürünlerin toksik etkisini değerlendirmek amacıyla toksisite analizleri gerçekleştirilmiştir.

2. Materyal ve metot (Material and method)

2.1. Kimyasal maddeler (Chemical materials)

Tablo 2'de siprofloksasin (CIP) kimyasal özellikleri verilmektedir. Numunelerin başlangıç pH'ı H₂SO₄ ve NaOH çözeltileri (0,05-1,00 N) kullanılarak ayarlanmıştır. Oksidant olarak %99 saflıkta potasyum persülfat (K₂S₂O₈; Sigma-Aldrich, ABD) kullanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan bütün kimyasallar analitik saflıktadır.

Tablo 2. CIP kimyasal özellikleri (Chemical properties of CIP)

Yaygın isim	Siprofloksasin
Kimyasal adı (IUPAC)	1-siklopropil-6-floro-4-okso-7- (1-piperazinil) -1,4-dihidro-3-kinolinkarboksilik asit
Kimyasal sınıfı	Karboksil-florokinolon
CAS numarası	85721-33-1
Moleküler formül	C ₁₇ H ₁₈ FN ₃ O ₃
Moleküler yapı	
Moleküler ağırlık (g/mol)	331,35

2.2. Su matrisi karakterizasyonu (Characterization of water matrix)

Yürütülen çalışmada sentetik olarak hazırlanan ortam dışında İstanbul ilinde bulunan bir içme suyu su arıtma tesisinin giriş ünitesinden alınan ve karakteristik özellikleri; çözünmüş organik karbon 7,9 mg/L, askıda katı madde <10 mg/L, alkalinite 92 mg CaCO₃/L, Cl⁻ 21 mg/L, sertlik 120 mg CaCO₃/L, UV₂₅₄ 0,234 cm⁻¹, renk 26 Pt-Co ve pH 8,5 olan yüzey suyu örneği de kullanılmıştır.

2.3. Oksidasyon deney düzeneği (Experimental setup of oxidation)

Fotokimyasal ileri oksidasyon deneyleri 32×33×21 cm boyutunda bir fotoreaktörde (LZC-ORG, Luzchem Research Inc., Kanada) gerçekleştirilmiştir. Reaktörün sağ ve sol yanlarında beşerli olmak üzere yerleştirilmiş olan floresan lambalar proses şartlarına göre ilgili ışık türü ayarlanarak (UV-C, 254 nm; UV-A, 350 nm) deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalarda üç boynuzlu kuartz cam kullanılmıştır. İlk etapta optimizasyon parametreleri olarak belirlenen pH (4,0 - 5,5 - 7,0 - 8,5 - 10,0), PS konsantrasyonu (0,05 - 0,10 - 0,25 mM) ve

reaksiyon süresi (0, 2, 5, 15, 30, 60, 90 ve 120 dakika) değişkenlerinin giderim verimi üzerine etkileri belirlenmiştir. Su matrisinin fizikokimyasal özelliklerinin fotokimyasal ileri oksidasyon prosesi üzerine olan etkilerini belirlemek amacıyla yüzeysel su numunesi ile giderim testleri uygulanmıştır. Bu amaçla gerçek ortamdan alınan örnekler CIP başlangıç konsantrasyonu 2 mg/L, PS konsantrasyonu 0,25 mM ve pH değeri 8,5 olacak şekilde karakterize edilmiş, optimum koşullarda fotokimyasal ileri oksidasyon prosenin giderim verimi belirlenmiştir.

2.4. Analizler (Analyses)

Başlangıç ve arıtma sonrası çözelti içerisindeki CIP konsantrasyonları ölçümleri Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografisi (HPLC, Agilent Technologies, USA) cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Kalıntı PS konsantrasyonu kolorimetrik yöntem ile tayin edilmiştir (615 nm, JENWAY 6300)(Villegas ve diğ., 1963). pH ölçümleri Thermo Orion 720A+ model pH metre kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Biyodeneyle, literatürde de sıklıkla tercih edilen *Aliivibrio fischeri* biyoluminesans bakterisi kullanılarak inhibisyon ölçümleri gerçekleştirilmiştir. *V. fischeri*, gram-negatif, çubuk şeklinde, kamçılı ve patojenik olmayan bir bakteri olup, dünyanın çeşitli bölgelerinde, özellikle alt tropikal ve ılıman deniz ortamlarında yaygın olarak bulunmaktadır. *V. fischeri*, toksisitenin tespit edilmesi amacıyla sıklıkla kullanılmaktadır, çünkü uygulanması kolaydır, güvenilir sonuçlar sağlar, tekrarlanabilirlik gösterir, düşük maliyetlidir, kısa test sürelerine sahiptir ve yüksek hassasiyet sunar (Abbas vd., 2018). Akut toksisite test analizi ISO 11348-3 protokolüne göre biyoanaliz kit (BioToxTM, Aboatox Oy, Finlandiya) yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Deney prosedürü ile paralel şekilde ham ve arttırılmış örnekler için 500 µL numuneler (>%2 NaCl içeren) bakteri kültürüne maruz bırakılmıştır. Toksikite analizleri süresince takip edilen test protokolü diğer basamakları Gülcan (2019)'da detaylıca sunulmuştur.

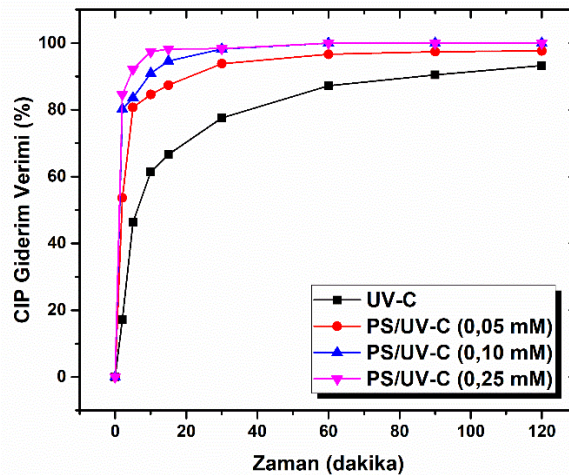
3. Sonuçlar ve tartışma (Results and discussion)

3.1. UV-C ve PS/UV-C deneyleri (UV-C and PS/UV-C experiments)

3.1.1. Başlangıç PS konsantrasyonunun etkisi (Effect of initial PS concentration)

Başlangıç PS konsantrasyonunun CIP giderim verimine etkisini incelemek amacıyla, sentetik çözeltilerde 2 mg/L CIP içeren deneyler gerçekleştirilmiştir. Başlangıç pH değeri yüzeysel su numunesiyle aynı koşullara getirilmek için 8,5 olarak ayarlanmıştır. Deneylerde, başlangıç PS konsantrasyonunun (0,05 - 0,10 - 0,25 mM) etkisi Şekil 1'de sunulmuştur.

Ayrıca, PS'nin CIP bozunması üzerindeki etkisini bağımsız olarak değerlendirmek için PS'nin olmadığı ve UV-C ışığının kullanılmadığı iki ayrı kontrol deneyi gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, PS güçlü bir oksidan olmasına rağmen, karmaşık bir moleküler yapısı olan CIP'i oksitleme yeteneğine sahip olmadığını göstermiştir. Sadece UV-C ışığı kullanıldığında, 120 dakikalık reaksiyon süresi sonunda %88 giderim veriminin elde edildiği belirlenmiştir. PS (0,05 mM) ile UV-C fotolizi birlikte uygulandığında ise 120 dakikalık reaksiyon süresi sonunda %93 giderim verimi elde edilmiştir. Ayrıca, literatür çalışmalarıyla uyumlu olarak, PS konsantrasyonunun 0,10 mM ve 0,25 mM'a yükseltilmesiyle CIP tamamen giderildiği gözlemlenmiştir (Karci vd., 2012; Ucu vd., 2021). Maliyet ve yan ürün oluşumu gibi faktörleri dikkate alarak, optimum PS konsantrasyonu 0,10 mM olarak belirlenmiş ve ileri optimizasyon çalışmalarında bu değer kullanılmıştır.

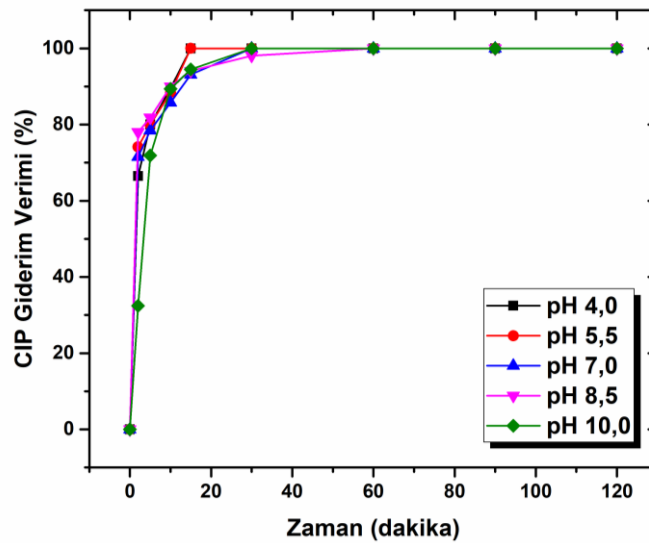


Şekil 1. Oksidan konsantrasyonunun UV-C ile CIP degradasyonu üzerine etkisi (Effect of oxidant concentration on the degradation of CIP by UV-C)

Yakından incelenen veriler, UV-C fotoliz deneyinde 2 dakikalık reaksiyon süresi sonunda 0,34 mg/L CIP giderimine ulaştığı belirlenmiştir. PS/UV-C oksidasyon deneyleri sırasında 2 dakikalık reaksiyon süresi boyunca 0,05 mM, 0,10 mM ve 0,25 mM PS için sırasıyla %54, %80 ve %85 oranlarında giderim verimleri elde edilmiştir. Literatür araştırmalarında olduğu üzere, PS dozajının artırılmasıyla birlikte SO_4^{2-} üretimi hızlanarak CIP giderim verimleri önemli ölçüde artmaktadır. Benzer bir şekilde Lin ve Wu (2014), yaptıkları çalışmada $Na_2S_2O_8$ konsantrasyonu arttıkça siprofloksasinin bozulma veriminin de arttığını belirtmiştir.

3.1.2. Başlangıç pH etkisi (Effect of initial pH)

2 mg/L CIP içeren sulu çözeltilerde oksidan konsantrasyonu 0,10 mM sabit tutularak çözelti pH'nın giderim verimine olan etkisi belirlenmiştir. Elde edilen verilerin analizi sonucunda, tüm başlangıç pH değerlerinde yaklaşık %90 verimine ulaşmak için 10 dakikalık reaksiyon süresinin yeterli olduğu gözlenmiştir (Şekil 2). Bu sonuçlara dayanarak, başlangıç pH değerinin PS/UV-C prosesinin CIP giderim verimine önemli bir etkisinin olmadığı söylenebilmektedir. Yani, başlangıç pH değeri artıp azalsa da, PS/UV-C prosesi tarafından gerçekleştirilen CIP giderim verimi üzerinde belirgin bir değişiklik olmamıştır. Literatür çalışmaları, sulu çözeltilerde antibiyotiklerin parçalanmasında başlangıç pH'nın kritik rol oynadığını vurgulamaktadır (Ao vd., 2018). Ao vd. (2019) yaptıkları çalışmada ortam pH'nın bazik olduğu koşullarda tetrasiklin gideriminin arttığını vurgulamıştır. Buna karşılık, asetamiprid, piroksikam ve sülfametoksipiridazin gibi antibiyotiklerin ise çözelti pH'nın asidik olduğu şartlarda UV ile aktive edilmiş persülfat oksidasyonu ile daha fazla gideriminin elde edildiği raporlanmıştır (Tan vd., 2017; Chen vd., 2018; Gao vd., 2019). Bu durum, kullanılan oksidant ile çözeltide bulunan antibiyotiğin doğrudan ilişkili olduğunu göstermektedir. Bu bağlamda, Igwebwe vd. (2020) yaptıkları araştırmada CIP giderim veriminin pH 3'ten pH 11'e yükselmesinin giderim verimini yalnızca %1,5 etkilediğini belirlemiştir.



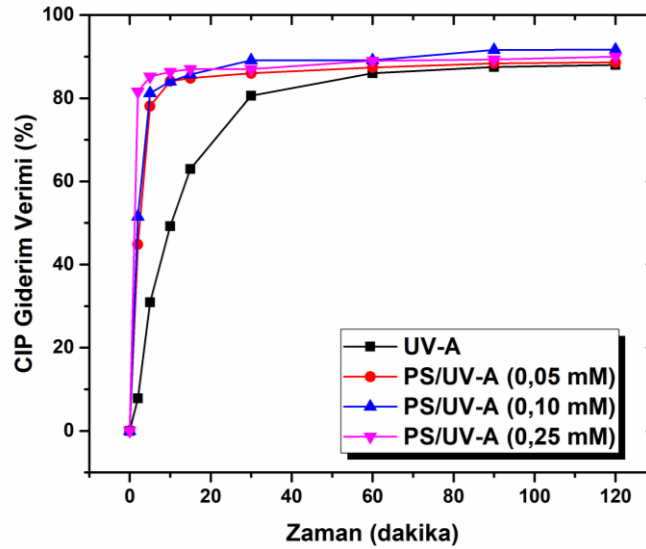
Şekil 2. Başlangıç pH'sının CIP degradasyonuna etkisi (Effect of initial pH on the degradation of CIP)

3.2. UV-A ve PS/UV-A deneyleri (UV-A and PS/UV-A experiments)

3.2.1. Başlangıç PS konsantrasyonunun etkisi (Effect of initial PS concentration)

Başlangıç oksidan konsantrasyonunun UV-A ile CIP giderim verimine etkisini incelemek amacıyla, sentetik çözeltilerde farklı PS konsantrasyonlarında (0,05 - 0,10 - 0,25 mM) deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu süreçte çözelti CIP konsantrasyonu 2 mg/L ve pH 8,5'tir. Ayrıca, UV-A fotolizinin tek başına CIP oksidasyonu üzerindeki etkisini belirlemek için reaksiyon ortamında PS'nin bulunmadığı bir kontrol deneyi de yürütülmüştür ve sonuçları değerlendirilmiştir (Şekil 3).

Şekil 3'te gösterildiği üzere, 120 dakika alıkonma süresi sonunda PS/UV-A deneylerinde %88 ile %92 aralığında bir giderim verimi elde edilmiştir. UV-A ışığının tek başına kullanıldığı şartlarda, reaksiyonun ilk dakikalarında yalnızca 0,16 mg/L giderim elde edilirken, PS oksidanının ortama dahil edildiği an itibari ile giderim veriminde belirgin bir artış görülmüş, PS konsantrasyonu artmasıyla giderim verimi de artmıştır. CIP giderim verimleri reaksiyonun 30. dakikasına kadar artış göstererek ilerlemiş, ancak daha sonra yavaşlayarak sabitlenmiştir.

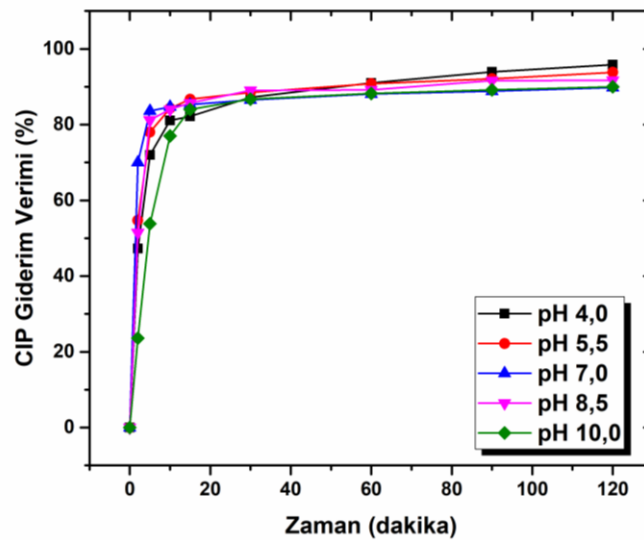


Şekil 3. Oksidan konsantrasyonunun UV-A ile CIP degradasyonu üzerine etkisi (Effect of oxidant concentration on the degradation of CIP by UV-A)

3.2.2. Başlangıç pH etkisi (Effect of initial pH)

Aynı şekilde, 0,10 mM PS konsantrasyonunda, başlangıç pH değerleri 4,0 ile 10,0 aralığında olan 2 mg/L CIP içeren sulu çözeltilerde başlangıç pH'ın CIP giderimi üzerindeki etkisini belirlemeyi hedefleyen deneysel çalışmalar yapılmıştır. Sonuçlar Şekil 4'te gösterilmektedir.

Sonuçlar, çalışılan tüm başlangıç pH değerlerinde yaklaşık %80'lik bir verim için on dakikalık bir reaksiyon süresinin yeterli olduğu ortaya koymuştur (Şekil 4). Onuncu dakikadan sonra reaksiyon sürelerindeki artış giderim verimini doğrudan etkileyemediği görülmüş, en yüksek giderim oranının %95 ile pH 4'te kaydedildiği gözlenmiştir. Bu minimum düzeydeki artışın temel nedeni, asidik koşullarda daha yüksek $SO_4^{\bullet-}$ oluşumunun mümkün olması ve dolayısıyla daha hızlı bir bozunma sağlanabilmesidir (Ucun vd., 2021).



Şekil 4. Başlangıç pH'sının CIP degradasyonuna etkisi (Effect of initial pH on the degradation of CIP)

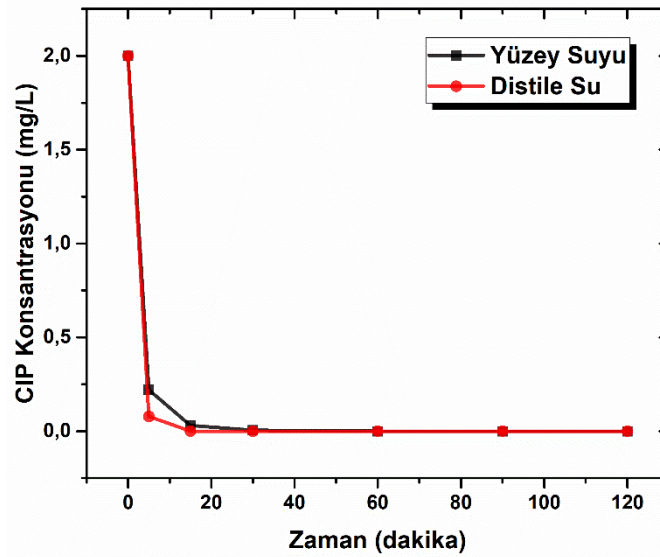
3.3. Toksikite analizi (Toxicity analysis)

Bu çalışmada *V. fischeri* kullanılarak, ortam koşullarının 2 mg/L CIP, 0,25 mM PS ve pH 8,5 olduğu şartlarda deneylerinin başlangıcında ($t=0$) ve reaksiyon sırasında 10 dakikalık aralıklarla 120. dakikaya kadar numuneler alınmış ve inhibisyon değerleri hesaplanmıştır. Sonuçlar, PS/UV-C ve PS/UV-A prosesleri sırasında ve sonunda oluşan ara ve son ürünlerinin *V. fischeri* üzerinde inhibisyon etkisi oluşturmadığını göstermiştir.

3.4. Su matrisinin CIP giderimine etkisi (Effect of water matrix on the CIP removal)

Literatürde İOP ile yapılan çoğu çalışma model kirleticilerle birlikte hazırlanan sentetik çözeltiler kullanılarak uygulanmıştır. Bu yöntem hedef kirleticinin bozulma yollarını inceleyerek kullanılan prosesin kirletici ve oksitleyici arasındaki etkileşimi hesaba katmadan verimini değerlendirmektedir. Bu bağlamda su matrisinin kalitesi İOP'nin veriminin, gerçek su ve atıksu numunelerinin arıtılması için uygunluğunun ve uygulanabilirliğinin değerlendirilmesi açısından oldukça önemlidir (Zhang vd., 2022). Genel olarak ortamda doğal organik maddelerin (DOM) bulunması UV geçirgenliğini azaltma, ortamdaki SO_4^{2-} ile reaksiyona girerek hedef kirleticilerle rekabet etme gibi nedenlerden dolayı proses verimini azaltmaktadır (Ribeiro vd., 2019).

UV tabanlı İOP'ler farklı su matrislerinde, florokinolon grubu antibiyotikleri (CIP, Deng vd., 2019; OFL, Zhu vd., 2020), sülfonamid antibiyotikleri (SMX, Michael vd., 2020; SDM, Shad vd., 2020), makrolid antibiyotikleri (ERY, Fang vd., 2013), β -laktam antibiyotikleri (AMX, Pirsahab vd., 2020), kloramfenikoller (FF, CAP ve TAP, Yin vd., 2018), tetrasiklin antibiyotikleri (OTC, DTC, Yuan vd., 2011), ARB (Michael vd., 2020) ve ARG'leri (Mckinney ve Pruden, 2012) önemli ölçüde giderdiği ispatlanmıştır (Tablo 3). Çalışmalar neticesinde genel olarak, su matrisinin karmaşıklığı arttıkça, UV tabanlı İOP'lerin antibiyotik kirliliklerini giderme etkinliği azaldığı raporlanmıştır (Lado Ribeiro vd., 2019). Bu kapsamda, başlangıç PS 0,25 mM ve pH 8,5 koşullarında su matrisinin PS/UV-C ile CIP giderimi üzerine etkisi araştırılmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5. Farklı su matrislerinde PS/UV-C prosesinin CIP giderimi üzerine etkisi (Effect of water matrix on the removal of CIP by PS/UV-C)

PS/UV-C, sentetik çözeltide minimum reaksiyon süresinde maksimum giderim verimi elde edilmiştir. Yüzeysel su numunesinde ise aynı reaksiyon koşullarında CIP tamamen giderilmiş, ancak reaksiyon süresi sentetik çözeltiler koşullarına kıyasla iki katına çıkmıştır. Bu sonuçlar göz önünde bulundurulduğunda, her iki su matrisi için de aynı reaksiyon koşullarında PS/UV-C prosesinin etkin bir şekilde CIP gideriminde kullanılabileceği sonucuna ulaşılmaktadır.

Tablo 3. UV tabanlı İOP'ler ile farklı su matrislerinden antibiyotik giderim çalışmaları (Removal studies of antibiotics from different water matrices using UV-based advanced oxidation processes)

İOP	Su Matrisi	Hedef Kirlenici - Giderim Verimi	Referans
UVC/H ₂ O ₂	Evsel Atıksu	CIP, >%99; SMX, >%99	Michael vd., 2020
UVC/H ₂ O ₂	Sentetik Çözelti İçme Suyu	FF, %32; CAP, %43; TAP, %25	Yin vd., 2018
UVC/H ₂ O ₂	Evsel Atıksu Yüzey Suyu	DXC, >%98; OTC, >%98; CIP, >%98	Yuan vd., 2011
UVC/klor	Sentetik Çözelti	CIP, >%98	Deng vd., 2019
UVC/klor	Yüzey Suyu	CIP, >%80	Deng vd., 2019
UVC/klor	Evsel Atıksu	CIP, >%73	Deng vd., 2019
UVC/PDS	Hastane Atıksuyu	AMX, >%99; CIP, >%99	Pirsaheb vd., 2020
UVC/PDS	Sentetik Atıksu Sentetik Yüzey Suyu	OFL, %100	Zhu vd., 2020
UVC/PMS	Sentetik Atıksu		
UVC/H ₂ O ₂	Yüzey Suyu	SDM, %100	Shad vd., 2020
UV	Evsel Atıksu		
UVC/PMS	Sentetik Çözelti	TMP, >%80; SMX, >%80; DCF, >%80	Berruti vd., 2021
UV/PS	Sentetik Çözelti	TC, %96	Zhang vd., 2022
UV/PS	Sentetik Çözelti	SMT, %90	Gao vd., 2012
UV/PS	Sentetik Çözelti	CAP, %100	Gauch vd., 2017
UV/PS			
UV/PMS	Sentetik Çözelti	SMX, >%97	Ao ve Liu, 2017
UV/H ₂ O ₂			
UV/PS	Sentetik Çözelti	OTC, %100	Liu vd., 2016
UV-C/PS	Sentetik Çözelti	CIP, %100	Bu Çalışma
UV-A/PS	Sentetik Çözelti	CIP, %92	Bu Çalışma
UV-C/PS	Yüzey Suyu	CIP, %100	Bu Çalışma

*AMX: Amoksisilin; CAP: Kloramfenikol; CIP: Siprofloksasin; DCF: Diklofenak; DXC: Doksisisiklin; FF: Florfenikol; OFL: Ofloksasin; OTC: Oksitetrasiklin; SDM: Sülfadimetoksin; SMX: Sülfametoksazol; SMT: Sülfadimidin; TC: Tetrasiklin; THA: Tiamfenikol; TMP: Trimetoprim

4. Değerlendirme (Conclusion)

Son yıllarda antibiyotikler gibi ilaç kalıntı maddeleri, insan ve çevre sağlığı için risk oluşturan etmenlerin başında gelmektedir. Bu nedenle ilaç kalıntı maddelerinin kompleks yapılarını ara ürün oluşturmadan arıtımı için alternatif bir arıtma teknolojisi arayışı oluşmaktadır.

Bu çalışmada, sulardan CIP giderimi için SO₄^{•-} bazlı fotokimyasal İOP'lerin uygulanabilirliği araştırılmıştır. Çalışmada başlangıç pH değeri (4 - 5,5 - 7 - 8,5 - 10), PS molar konsantrasyonu (0,05 mM - 0,1 mM - 0,25 mM) ve reaksiyon süresi (0, 2, 5, 15, 30, 60, 90 ve 120 dakika) gibi değişkenlerin etkisi incelenmiş, UV-C ve UV-A ışınları ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Deneylerde sadece PS oksidanı kullanıldığında CIP arıtımı gerçekleşmemiştir. Ancak PS oksidanı UV-A ve UV-C fotolizi ile birlikte kullanıldığında, 120 dakika reaksiyon süresi sonucunda sırasıyla %86 ve %92 CIP giderim verimleri elde edilmiştir. Bu durum, PS oksidanının UV-A ve UV-C aktivasyonu ile CIP degradasyonunu arttırdığını göstermektedir. PS/UV-A prosesiyle 15 dakikalık reaksiyon süresi sonucunda yaklaşık %90 giderim verimi elde edilmiş ve reaksiyon süresinin 15 dakikadan sonra giderim verimi üzerinde etkisinin olmadığı görülmüştür. Ayrıca, CIP konsantrasyonunun artmasıyla giderim veriminin arttığı belirlenmiştir. Deney sonuçları, başlangıç pH değerinin PS/UV-A ve PS/UV-C proseslerinin giderim verimleri üzerinde önemli bir etkisinin olmadığını göstermiştir. Ayrıca, SO₄^{•-} bazlı fotokimyasal İOP'lerin arıtım sırasında ve sonunda oluşan ara ve son ürünlerin *V. fischeri* üzerinde inhibisyon etkisi görülmemiştir. Yüzeysel su numuneleriyle yapılan çalışmalar, su matrisinde bulunan safsızlıkların giderim verimini düşürdüğü tespit edilmiştir.

Bu çalışma sonuçlarına göre CIP içeren suların arıtımında tam mineralizasyon sağlanması ve pH ayarlama adımına ihtiyaç duyulmaması, olası ara ve son ürünlerin *V. fischeri* üzerinde inhibisyon etki göstermemesi gelecekteki arıtım uygulamaları açısından oldukça umut verici olduğunu göstermektedir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

Kaynaklar (References)

- Abbas, M., Adil, M., Ehtisham-ul-Haque, S., Munir, B., Yameen, M., Ghaffar, A. Iqbal, M., 2018. *Vibrio fischeri* bioluminescence inhibition assay for ecotoxicity assessment: A review. *Science of the Total Environment*, 626, 1295-1309.
- Ao, X., Liu, W., 2017. Degradation of sulfamethoxazole by medium pressure UV and oxidants: Peroxymonosulfate, persulfate, and hydrogen peroxide. *Chemical Engineering Journal*, 313, 629-637.
- Ao, X., Liu, W., Sun, W., Cai, M., Ye, Z., Yang, C., Lu, Z., Li, C., 2018. Medium pressure UV-activated peroxymonosulfate for ciprofloxacin degradation: Kinetics, mechanism, and genotoxicity. *Chemical Engineering Journal*, 345, 87-97.
- Ao, X., Sun, W., Li, S., Yang, C., Li, C., Lu, Z., 2019. Degradation of tetracycline by medium pressure UV-activated peroxymonosulfate process: Influencing factors, degradation pathways, and toxicity evaluation. *Chemical Engineering Journal*, 361, 1053-1062.
- Barbossa, M.O., Moreira, N.F.F., Riberio, A.R., Pereira, M.F.R., Silva, A.M.T., 2016. Occurrence and removal of organic micropollutants: An overview of the watch list of EU Decision 2015/495. *Water Research*, 94, 257-279.
- Berruti, I., Nahim-Granados, S., Abeledo-Lameiro, M.J., Oller, I., Polo-López, M.I., 2021. UV-C Peroxymonosulfate Activation for Wastewater Regeneration: Simultaneous Inactivation of Pathogens and Degradation of Contaminants of Emerging Concern. *Molecules*, 26, 4890.
- Boczkaj, G., Fernandes, A., 2017. Wastewater treatment by means of advanced oxidation processes at basic pH conditions: A review. *Chemical Engineering Journal*, 320, 608-633.
- Deblonde, T., Cossu-Leguille, C., Hartemann, P., 2011. Emerging pollutants in wastewater: a review of the literature. *International journal of hygiene and environmental health*, 214, 6, 442-448.
- Deng, J., Wu, G., Yuan, S., Zhan, X., Wang, W., Hu, Z., 2019. Ciprofloxacin degradation in UV/chlorine advanced oxidation process: Influencing factors, mechanisms and degradation pathways. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 371, 151-158.
- Fang, G., Gao, J., Dionysiou, D.D., Liu, C., Zhou, D., 2013. Activation of persulfate by quinones: free radical reactions and implication for the degradation of PCBs. *Environmental science & technology*, 47, 9, 4605-4611.
- Fernandes, A., Makos, P., Boczkaj, G., 2018. Treatment of bitumen post oxidative effluents by sulfate radicals based advanced oxidation processes (S-AOPs) under alkaline pH conditions. *Journal of Cleaner Production*, 195, 374-384.
- Gao, Y.Q., Gao, N.Y., Deng, Y., Yang, Y.Q., Ma, Y., 2012. Ultraviolet (UV) light-activated persulfate oxidation of sulfamethazine in water. *Chemical Engineering Journal*, 195, 248-253.
- Ghauch, A., Baalbaki, A., Amasha, M., El Asmar, R., Tantawi, O., 2017. Contribution of persulfate in UV-254 nm activated systems for complete degradation of chloramphenicol antibiotic in water. *Chemical Engineering Journal*, 317, 1012-1025.
- Gülcan, H., 2019. Antibiyotiklerin Fotokimyasal İleri Oksidasyon Prosesleri İle Giderimi. Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Türkiye.
- Huang, J., Zhang, H., 2019. Mn-based catalysts for sulfate radical-based advanced oxidation processes: A review. *Environment international*, 133(Pt A), 105141.
- Karci, A., Arslan-Alaton, I., Ölmez-Hancı, T., Bekbölet, M., 2012. Transformation of 2,4-dichlorophenol by H₂O₂/UV-C, Fenton and photo-Fenton processes: Oxidation products and toxicity evolution. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 230, 1, 65-73.
- Lado Ribeiro, A.R., Moreira, N.F.F., Puma, G.L., Silva, A.M.T., 2019. Impact of water matrix on the removal of micropollutants by advanced oxidation technologies. *Chemical Engineering Journal*, 363, 155-173.
- Larsson, D.G.J., Pedro, C., Paxeus, N., 2007. Effluent from drug manufactures contains extremely high levels of pharmaceuticals. *Journal of Hazardous Materials*, 148, 751-755.
- Li, J., Li, Y., Xiong, Z., Yao, G., Lai, B., 2019. The electrochemical advanced oxidation processes coupling of oxidants for organic pollutants degradation: A mini-review. *Chinese Chemical Letters*, 30, 12, 2139-2146.
- Lin, C.C., Wu, M.S., 2014. Degradation of ciprofloxacin by UV/S2O8²⁻ process in a large photoreactor. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 285, 1-6.
- Liu, Y., He, X., Fu, Y., Dionysiou, D.D., 2016. Kinetics and mechanism investigation on the destruction of oxytetracycline by UV-254nm activation of persulfate. *Journal of hazardous materials*, 305, 229-239.
- Liu, C., Wu, B., Chen, X., 2018. Sulfate radical-based oxidation for sludge treatment: A review. *Chemical Engineering Journal*, 335, 865-875.
- Liu, L., Gao, J., Liu, P., Duan, X., Han, N., Li, F., Sofianos, M.V., Wang, S., Tan, X., Liu, S., 2019. Novel applications of perovskite oxide via catalytic peroxymonosulfate advanced oxidation in aqueous systems for trace L-cysteine detection. *Journal of colloid and interface science*, 545, 311-316.
- Luo, Y., Guo, W., Ngo, H.H., Nghiem, L.D., Hai, F.I., Zhang, J., Liang, S., Wang, X.C., 2014. A review on the occurrence of micropollutants in the aquatic environment and their fate and removal during wastewater treatment. *The Science of the total environment*, 473-474, 619-641.
- Ma, D., Yi, H., Lai, C., Liu, X., Huo, X., An, Z., Li, L., Fu, Y., Li, B., Zhang, M., Qin, L., Liu, S., Yang, L., 2021. Critical review of advanced oxidation processes in organic wastewater treatment. *Chemosphere*, 275, 130104.
- Matin, A., Jillani, S.M.S., Baig, U., Ihsanullah, I., Alhooshani, K., 2023. Removal of pharmaceutically active compounds from water sources using nanofiltration and reverse osmosis membranes: Comparison of removal efficiencies and in-depth analysis of rejection mechanisms. *Journal of environmental management*, 338, 117682.

- McKinney, C.W., Pruden, A., 2012. Ultraviolet disinfection of antibiotic resistant bacteria and their antibiotic resistance genes in water and wastewater. *Environmental science & technology*, 46, 24, 13393–13400.
- Michael, S.G., Michael-Kordatou, I., Nahim-Granados, S., Polo-Lopez, M.I., Rocha, J., Martinez-Piernas, A.B., Fernandez-Ibanez, P., Agüera, A., Manaia, C.M., Fatta-Kassinos, D., 2020. Investigating the impact of UV-C/H₂O₂ and sunlight/H₂O₂ on the removal of antibiotics, antibiotic resistance determinants and toxicity present in urban wastewater. *Chemical Engineering Journal*, 388, 124383.
- Nasseri, S., Mahvi, A.H., Seyedsalehi, M., Yaghmaeian, K., Nabizadeh, R., Alimohammadi, M., Safari, G.H., 2017. Degradation kinetics of tetracycline in aqueous solutions using peroxydisulfate activated by ultrasound irradiation: Effect of radical scavenger and water matrix. *Journal of Molecular Liquids*, 241, 704-714.
- Norzaee, S., Bazrafshan, E., Djahed, B., Mostafapour, F.K., Khaksefidi, R., 2017. UV Activation of Persulfate for Removal of Penicillin G Antibiotics in Aqueous Solution. *Hindawi The Scientific World Journal*, 2017.
- Pereira, A.M., Silva, L.J., Meisel, L.M., Lino, C.M., Pena, A., 2015. Environmental impact of pharmaceuticals from Portuguese wastewaters: geographical and seasonal occurrence, removal and risk assessment. *Environmental research*, 136, 108–119.
- Pirsaheb, M., Hossaini, H., Janjani, H., 2020. Reclamation of hospital secondary treatment effluent by sulfate radicals based-advanced oxidation processes (SR-AOPs) for removal of antibiotics. *Microchemical Journal*, 153, 104430.
- Ribeiro, A.L., Moreira, N., Puma, G.L., Silva, A., 2019. Impact of water matrix on the removal of micropollutants by advanced oxidation technologies. *Chemical Engineering Journal*, 363, 155-173.
- Richards, L.A., Guo, S., Lapworth, D.J., White, D., Civil, W., Wilson, G.J.L., Lu, C., Kumar, A., Ghosh, A., Khamis, K., Krause, S., Polya, D.A., Goody, D.C., 2023. Emerging organic contaminants in the River Ganga and key tributaries in the middle Gangetic Plain, India: Characterization, distribution & controls. *Environmental Pollution* 327, 121626.
- Rodriguez, S.G., Rodriguez, E., Singh, D.N., Chueca, J.R., 2018. Assessment of Sulfate Radical-Based Advanced Oxidation Processes for Water and Wastewater Treatment: A Review. *Water*, 10, 1828.
- Sadeghi, M., Sadeghi, R., Ghasemi, B., Gashtasb, M., Ahmad, A., 2018. Removal of Azithromycin from Aqueous Solution Using UV-Light Alone and UV Plus Persulfate Processes. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research*, 17, 54-64.
- Shad, A., Chen, J., Qu, R., Dar, A.A., Bin-Jumah, M., Allam, A.A., Wang, Z., 2020. Degradation of sulfadimethoxine in phosphate buffer solution by UV alone, UV/PMS and UV/H₂O₂: Kinetics, degradation products, and reaction pathways. *Chemical Engineering Journal*, 398, 125357.
- Topal, M., Uslu Şenel, G., Arslan Topal, E., Öbek, E., 2015. Antibiyotikler ve kullanım alanları. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 31, 3, 121-127.
- Ucun, O. K., Montazeri, B., Arslan-Alaton, I., & Olmez-Hanci, T., 2021. Degradation of 3,5-dichlorophenol by UV-C photolysis and UV-C-activated persulfate oxidation process in pure water and simulated tertiary treated urban wastewater. *Environmental technology*, 42, 25, 3877–3888.
- Valavanidis, A., Vlachogianni, T., 2015. Ecotoxicity Test Methods and Ecological Risk Assessment. *Aquatic and Terrestrial Ecotoxicology Tests under the Guidelines of International Organizations. Science Advances on Environmental Chemistry. Toxicology and Ecotoxicology Issues*, 1-29.
- Xia, X., Zhu, F., Li, J., Yang, H., Wei, L., Li, Q., Jiang, J., Zhang, G., Zhao, Q., 2020. A Review Study on Sulfate-Radical-Based Advanced Oxidation Processes for Domestic/Industrial Wastewater Treatment: Degradation, Efficiency, and Mechanism. *Frontiers in chemistry*, 8, 592056.
- Yin, K., Deng, L., Luo, J., Crittenden, J., Liu, C., Wei, Y., Wang, L., 2018. Destruction of phenicol antibiotics using the UV/H₂O₂ process: Kinetics, byproducts, toxicity evaluation and trichloromethane formation potential. *Chemical Engineering Journal*, 351, 867-877.
- Yuan, F., Hu, C., Hu, X., Wei, D., Chen, Y., Qu, J., 2011. Photodegradation and toxicity changes of antibiotics in UV and UV/H(2)O(2) process. *Journal of hazardous materials*, 185, 2-3, 1256–1263.
- Zhang, Y., Zhao, Y., Maqbool, F., Hu, Y., 2022. Removal of antibiotics pollutants in wastewater by UV-based advanced oxidation processes: Influence of water matrix components, processes optimization and application: A review. *Journal of Water Process Engineering*, 45, 102496.
- Zhao, D., Liao, X., Yan, X., Huling, S. G., Chai, T., Tao, H., 2013. Effect and mechanism of persulfate activated by different methods for PAHs removal in soil. *Journal of Hazardous Materials*, 254-255, 228–235.
- Zhao, Q., Mao, Q., Zhou, Y., Wei, J., Liu, X., Yang, J., Luo, L., Zhang, J., Chen, H., Chen, H., Tang, L., 2017. Metal-free carbon materials-catalyzed sulfate radical-based advanced oxidation processes: A review on heterogeneous catalysts and applications. *Chemosphere*, 189, 224–238.
- Zhu, Y., Wei, M., Pan, Z., Li, L., Liang, J., Yu, K., Zhang, Y., 2020. Ultraviolet/peroxydisulfate degradation of ofloxacin in seawater: Kinetics, mechanism and toxicity of products. *Science of the total environment*, 705, 135960.



DEPOLAR İÇİN KUTU RENK SEÇİM ROBOTU

Ceyhun KARATAŞ^{1*}, Önder ŞAHİNASLAN²

¹ Barsan Global Lojistik, AR-GE Bölümü, İstanbul, Türkiye

² Maltepe Üniversitesi, Bilişim Bölüm Başkanlığı, İstanbul, Türkiye

Anahtar Kelimeler Öz

Otomasyon, Robot, Depo, Verimlilik, Teknoloji ve Yenilik. İnsanların ve iş makinelerinin bir arada kullanıldığı lojistik depolarda yoğun ve hızlı çalışma ortamları, aşırı yorgunluk, dikkat dağınıklığı, zamanlama hataları, kutuların taşınması ve yerleştirilmesinde iş kazalarının yanı sıra operasyonel hatalara da neden olmaktadır. Bu tür sorunların çözümünde teknolojikten, araç ve gereçlerden daha fazla yararlanmak çözüm olabilir. Bu çalışmada depo operasyonlarında insan gücü yerine robot kollarının kullanılmasına yönelik özgün bir robot prototipi üretilmiş ve gerçek sahadaki performans düzeyi araştırılmıştır. Depoya gönderilen her kolinin üzerindeki etiketin rengine göre robotun önceden belirlediği doğru konuma yerleştirilmesi amaçlanmıştır. Robotun mekanik parçalarının tasarımında Arduino, yürüme bandının tasarımında ise Sketchup aracı kullanıldı. Robotun motor, algılayıcı ve elektronik aksamaları hariç tüm parçaları plastik malzemeden 3d yazıcıyla 400 saatte üretildi. Çalışma sonucunda üretilen robot prototipindeki üç farklı renkteki 197 kutunun yaklaşık %99'unun robot tarafından istenilen alanlara başarıyla yerleştirildiği görülmüştür.

BOX COLOR SELECTION ROBOT FOR WAREHOUSES

Keywords

Automation, Robot, Warehouse, Productivity, Technology and Innovation.

Abstract

In the logistics warehouses, where people and work machines are used together, the intense and fast working environment causes excessive fatigue, distraction, timing errors, work accidents in the transport and placement of boxes, as well as operational errors. In solving such problems, making more use of technology, tools and equipment may be the solution. In this study, a unique robot prototype was produced for the use of robot arms instead of manpower in warehouse operations and the performance level in the real field was investigated. It is aimed to be placed in the correct position determined by the robot according to the color of the label on each parcel sent to the warehouse. Arduino was used in the design of the mechanical parts of the robot, and the Sketchup tool was used in the design of the treadmill. All parts of the robot, except the motor, sensor and electronics, were produced from plastic material in 400 hours with a 3d printer. As a result of the study, it was seen that approximately 99% of the 197 boxes in three different colors in the robot prototype produced were successfully placed in the desired areas by the robot.

Alıntı / Cite

Karataş, C., Şahinaslan, Ö. (2023). Depolar için Kutu Renk Seçim Robotu, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(3), 1213-1227.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

C. Karataş, 0000-0001-5560-2867
Ö. Şahinaslan, 0000-0003-2695-5078

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	10.11.2021
Revizyon Tarihi / Revision Date	28.09.2022
Kabul Tarihi / Accepted Date	14.08.2023
Yayın Tarihi / Published Date	28.09.2023

* Corresponding author: 201419120@st.maltepe.edu.tr, +90-216-626-1050

BOX COLOR SELECTION ROBOT FOR WAREHOUSES

Ceyhun KARATAS^{1†}, Onder SAHINASLAN²

¹ Barsan Global Logistics, R&D Department, Istanbul, Türkiye

² Maltepe University, Department of Informatics, Istanbul, Türkiye

Highlights

- Warehousing is an intense, fast, and demanding job where humans and machines work together.
- Vehicles such as forklifts and pallet trucks used in storage can cause very serious work accidents.
- The need for up-to-date information technologies and solutions is increasing day by day.
- In this study, the robot prototype developed with an original design was 99% successful.

Graphical Abstract

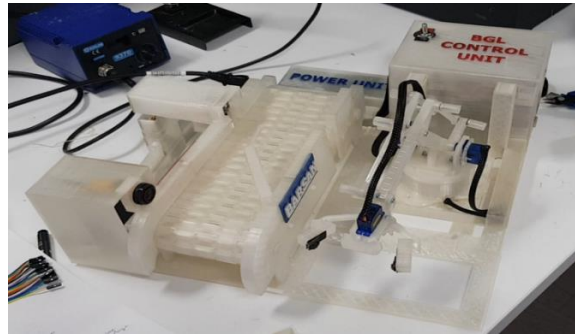


Figure. Robot Prototype Image

Purpose and Scope

Producing the robot prototype that determines the position according to the color of the label on the box and testing its applicability in the field of logistics.

Design/methodology/approach

The mechanical design of the robot, the electronic design that will connect it to the physical world, the software design and assembly phase to run the robot operating system.

Findings

In the achievement tests, 195 out of 197 boxes (approximately 99%) were successfully placed in the desired area by the robot.

Research limitations/implications

The techniques used in this study are limited by the capabilities of the devices and applications and the physical storage environment conditions.

Practical implications

A sample robot prototype has been developed that can help in the correct determination of the places where the boxes will be placed and in their shipment. The technological solution that can be used instead of human labor in logistics warehouses has been successfully applied in the field.

Social Implications

This solution will contribute to the reduction of work accidents or their vital effects in warehouses where human-machine interaction is intense. The fact that dangerous works that require heavy labor will be done with machines will increase human health and quality of life and will contribute positively to workplace productivity and sustainability.

Originality

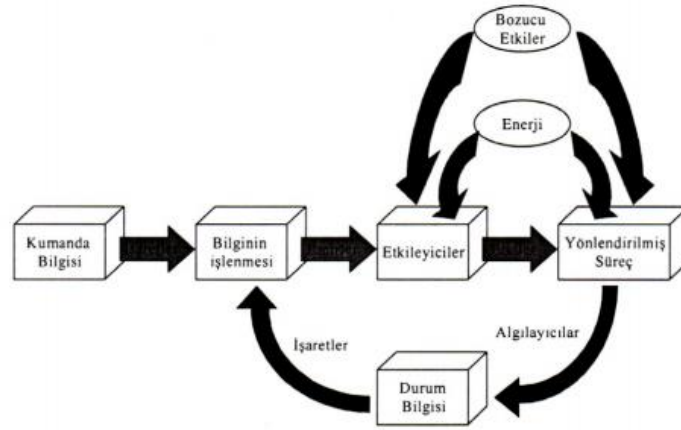
Original design, 3D printing, assembly, application and high performance of robot mechanical parts.

[†] Corresponding author: 201419120@st.maltepe.edu.tr, +90-216-626-1050

1. Giriş (Introduction)

Günümüzde zamandan ve mesaiden bağımsız sürekli çalışabilen dijital işletmelerde çevik ve hızlı yanıt verebilecek dinamik altyapılara dayalı uygulamalara ihtiyaç vardır (Şahinaslan E. , 2020). İşletmeler sundukları hizmetleri daha yüksek bir etkinlikte, performanslı ve hızlı gerçekleştirmenin yeni yol, yöntem ve teknoloji arayışı içerisinde. Taşımacılık, depolama ve dağıtım endüstrilerini barındıran lojistik sektörde güncel otomasyon teknoloji ve uygulamalarına olan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır.

Otomasyon terimi, Mikell Groover'ın yaklaşımına göre, süreçlere insan müdahalesini azaltan teknolojilerin genel adıdır. Bu yaklaşıma göre; insan müdahalesi ile karar kriterleri, süreç ilişkileri ve bunlarla ilgili eylemler önceden belirlenerek, sürecin devamında insan müdahalesi azaltılır (Groover, 2014). Bu yaklaşıma göre; otomasyon, yapılacak işin, insan ve makine arasında paylaşılmasıdır. İnsan ve makine arasındaki iş paylaşımının oranı, otomasyonun yoğunluğunu belirler. Makine müdahalesi arttıkça, otomatikleştirilen işin, yani otomasyonun yoğunluğu da artar. Endüstriyel anlamda otomasyon tanımı da otomasyonun bu tanımıyla uyumludur. Endüstriyel otomasyon; endüstriyel işletmelerdeki makineler, süreçler, iletişim, yönlendirmeler gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Rifkin, 1995). Büyük ölçekli endüstriyel sistemlerin istenildiği ve planlandığı gibi çalışmasını ve gerçek zamanlı olarak gözlemlenmesini sağlayan bilgi ve teknolojileri içerir. Otomasyonun kuramsal temeli kumanda ve kontrol kavramına dayanmaktadır. Otomasyon sistemi temel bileşenleri ve yönlendirme döngüsü Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1. Otomasyon yönlendirme döngüsü (Automation routing loop) (Soysal, 1994)

Otomasyon sistemlerinin başlıca bileşenleri birbirini etkileyen bir dizi elemanın belirli mantık kuralları çerçevesinde doğru ve anlamlı işlemlerin gerçekleştirilmesine yarayan kumandadan gelen bilginin işlenmesi, etkileyiciler, algılayıcılar(sensör), işaretler ve bazı iç süreçlerden oluşan bir yönlendirme döngüsüne sahiptir. Kumanda tek yönlü ve açık bir yapıya sahip olmasına rağmen kontrolde kapalı çevrimli bir yapıya sahiptir. Bir otomasyon sisteminin temel bileşenleri; bilgi vericiler, algılayıcılar, etkileyiciler, güç yükselticileri ve yardımcı diğer bilgi işlem organlarıdır (Özturan & Tanrıtanır, 2004).

Endüstriyel otomasyon araçları, yapay zekâ ve robot teknolojilerinin kullanımı her geçen gün yaygınlaşmaktadır. Özellikle robotların kullanımıyla insan gücüne duyulan ihtiyaç azalarak bu gücün robotlardan sağlanması yaygınlaşmıştır (Gürfidan, 2015). Otomotiv parça montajı, demir-çelik, taşıma, dağıtım ve yerleştirme gibi endüstri iş kollarında robot kollarının kullanımı yaygındır. Robot kollar, tutucu ve taşıyıcı sistemlerden oluşur. Yaptıkları işler bakımından, tahrik sistemi, kontrol edilme şekli ve malzeme taşıma şekli gibi özellikleriyle birbirlerinden ayrılır (Hız, 2019).

Robot uygulamalarında yapay zekâ, makine öğrenimi ve algoritmalarından yararlanılır. Öğrenme algoritmaları yalnızca sayısal veri kümeleri üzerinde çalışır (Şahinaslan vd., 2023). Makine öğrenimi ise derin öğrenme algoritmaları ile insan zekâsını taklit eder. Arduino ise son yıllarda otomasyon ve robot sistemlerinde sıkça kullanılan, açık kaynak kodlu, geliştirilebilir bir devre kartıdır. Bu kart ile çeşitli devreler oluşturulabilir ve programlanabilir (Badamasi, 2014). Programlaması oldukça kolay ve ucuzdur. Hobi, eğitim ve profesyonel alanlarda yaygın kullanıma sahiptir. Cihaz ve kaynak erişimi de günümüzde oldukça kolaydır (Miller & Nourbakhsh, 2016).

Arduino veya benzeri sistemlerde renk belirleme için kullanılan en efektif yöntemlerden birisi RGB algılayıcılarıdır. Bunlar, bir numuneyi, üzerlerindeki bir LED vasıtasıyla aydınlatır ve geri yansıyan ışığı ölçerler.

Geniş spektrumlu bir ışık-voltaj dönüştürücü kullanarak bu numuneden yansıyan ışığın rengini tespit ederler (Beyaz, 2017). Nesne tanıma genellikle renk, şekil ve malzeme tiplerini içerir. Robotik uygulamalarda kullanılmak amacıyla üzerinde çeşitli algılayıcılar bulunduran kontrollü bir araçla birleştirilmiş yüzey materyali tanıma yöntemi sunmaktadır (Gökcan & Kahraman, 2019).

Lojistik süreçlerin idamesinde depolama önemli bir yere sahiptir (Şahinaslan, Karataş, & Şahinaslan, 2023). Depolama operasyonları yoğun insan emek, iş gücü ve dikkat isteyen anlık dalgınlık veya dikkatsizlik durumunda iş kazalarının yaşanabildiği bir çalışma alanıdır. Özellikle depolama operasyonlarında kullanılan forklift, transpalet, vinç gibi araçların neden olduğu bir kaza çok ciddi olumsuz sonuçlar doğurabilir. Öte yandan, depo operasyon verimliliğinin artması, tüm lojistik süreçlerin başarısına olumlu katkı sağlamaktadır. Depolama operasyonlarında bu tür risk ve sorunların önüne geçebilmek ve iş hedeflerine ulaşabilmek için güncel bilgi teknolojileri ve çözümlerine duyulan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Bu ihtiyaçların karşılanmasında yapay zekâ tabanlı görüntü işleme teknikleri, modern algılayıcı teknolojileri, henüz belirli bir zekâ düzeyine sahip olmasına rağmen çevre koşulları ile uyumlu çalışabilen robotlar ve otomasyon çözümleri ön plana çıkmaktadır. Bu çözümler sayesinde lojistik depolarda insan gücünün azaltılması, iş kazası sonucu oluşabilecek hasar ve kayıpların azaltılması, insan kaynaklı operasyonel hataların azaltılması ve depo verimliliğinin artırılması amaçlanmaktadır.

Lojistik depo operasyonunda müşterilerden gelen koliler, tedarikçi çıkışında kalite kontrol birimi tarafından farklı renkteki etiketlerle ürünlerin içeriklerine göre tasnif edilmektedir. Bu renklere göre, farklı tipteki kutuların, farklı satış kanallarına gönderilmektedir. İnsan yorumuna dayalı olan bu yöntemde çeşitli hatalar yapılabilen bu da ciddi zaman ve dolayısıyla maliyet kaybına neden olmaktadır. Ayrıca insan ve makinenin birlikte çalışmasının yüksek temposu ve yoğunluğundan dolayı iş kazası olma olasılığı yüksektir. Böyle bir iş kazasında ciddi kayıplar ve olumsuz etkiler de söz konusudur. Bu çalışma, yoğun emek ve emek harcanan büyük ölçekli bir lojistik depoda yaşanan sorunların çözümüne katkı sağlamak amacıyla kutu yerleştiren robotların lojistik depoda kullanılabilirliğinin araştırılması ile ilgilidir. Çalışmanın amacı, yoğun emek gerektiren depo operasyonlarında iş kazalarının etkilerini önlemek veya azaltmak, koli yerleştirme ve dağıtımında insan kaynaklı yorumlama farklılıklarını ortadan kaldırmak ve depo verimliliğine katkıda bulunmaktır. Geliştirilen numune robot prototipi uluslararası bir lojistik firmada numunelerin sınıflandırılmasında ve farklı bölgelere yerleştirilmesinde başarıyla uygulanmıştır.

2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Arduino ve algılayıcılar (sensörler) robotik alanda birçok çalışmaya konu olmuştur. Karacı ve Erdemir (2017), Arduino, mesafe algılayıcıları, gaz algılayıcıları, ısı algılayıcıları ve nem algılayıcıları kullanarak ortamdaki farklı değişkenleri ölçümlemişler, elde edilen ölçüm sonuçlarını Wi-Fi aracılığıyla bir merkeze gönderen bir robot tasarlamışlardır. Bu çalışmada, gezici bir robot, bulunduğu ortamın çeşitli yerlerini otonom olarak gezerek, ortamdaki sıcaklık, nem ve zehirli gaz gibi ölçümlerinin sonuçlarını merkezi bir sisteme gönderip ortam hakkında kullanıcıları bilgilendirmiştir. Karacı ve Erdemir (2017)'in çalışmasındaki Arduino ve sensör iletişimi örneklerinden faydalanılmıştır.

Yalman ve Haşiloğlu (2015), Arduino, ultrasonik algılayıcılar ve çizgi algılayan algılayıcılarla hastanelerde ilaç dağıtımları yapan bir robot geliştirmişlerdir. Arduino ve algılayıcıları robotik alanda kullanmışlardır. Çalışmaya konu robot, insan hemşirelerin sesli komutlarıyla çalışmaya başlayıp hangi hastaya hangi ilacı vermesi gerektiğine kendisi karar verip hastalara dağıtımını yapmak üzerine tasarlanmıştır. Çalışmadaki ultrasonik algılayıcılarla ilgili araştırmalarından faydalanılmıştır.

Elfasakhany vd. (2011) çalışmalarında ucuz maliyetli bir robot kol geliştirme yollarını anlatmışlar ve bu çalışmalarında Labview yazılımını kullanmışlardır. Myint ve Theingi (2015) çalışmalarında kinematik modelleme kullanarak eklemlerli robot kol tasarımını anlatmışlardır. Aung ve Oo (2018) MATLAB yazılım ve Arduino mikro denetleyici kullanarak 5 eksenli plastik bir robot kol yapmışlardır. Söz konusu robot kol; materyalleri tutma, kaldırma, yer değiştirme ve geri bırakma gibi işlemleri yapabilmektedir. Bu çalışmadaki robot kol araştırmalarından faydalanılmıştır.

Cippitelli vd. (2017) yılında RGB algılayıcıları ve radarlar kullanarak bir düşüş engelleme araştırması yapmışlardır. İncelemede, radarlar ve RGB algılayıcıların düşme algılama sistemlerinde kullanılmasının verimli olabileceği ve hasta ve yaşlı insanların sağlıkları için kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Bu çalışmada, RGB algılayıcıların kullanımı konusunda faydalanılmıştır.

Agudo vd. (2014) geleneksel olarak kullanılan pahalı renk ölçüm sistemleri yerine daha düşük maliyetli TCS34144CS gibi renk algılayıcılarının kullanımı konusunu incelemişlerdir. Çalışmada, TCS34144CS renk algılayıcısı Arduino ile kullanılmış ve elde edilen ölçümlerin doğruluğu MATLAB'da geliştirilen özel bir yazılım ile

ölçülmüştür. Sonuçta, diğer bilimsel araçlarla elde edilen seviyelere açıkça ulaşılmasa da düşük maliyetli algılayıcıların da kabul edilebilir değerlerde ölçümler yapabildiği ortaya konulmuştur. Araştırma konusu robotta kullanılacak renk algılayıcısının seçimi konusunda bu çalışmadan faydalanılmıştır.

Sihombing vd. (2019) yaptıkları çalışmada Arduino ve TCS3200 algılayıcısını kullanarak bir narenciye ayırma mekanizması kurmuşlardır. Bu mekanizmada, üst taraftan bir narenciye bırakılmış, orta bölümde narenciyenin rengi tespit edilip Arduino kartına gönderilmiş, Arduino kartın da 'servo' motorlara ulaştırdığı direktifler ile narenciyenin türüne göre farklı bölümlere yerleştirilmesi sağlanmıştır. Servo motor, bir mekanizmada oluşabilecek hatayı algılayan, geri besleme düzeneği ile denetleyen ve hatayı gidermeye çalışan otomatik bir aygıt olup robot teknolojisinde yaygın kullanılan bir motor çeşididir. Araştırma konusu olan çalışmada sunulan robota ait mekanik sistem yapısı ve renk ölçümüyle ilgili araştırmalarından faydalanılmıştır.

TCS34725 gibi diğer düşük maliyetli RGB algılayıcıların Arduino'da kullanımıyla ilgili Beyaz (2017) tarafından gerçekleştirilen çalışmada; TCS3200, Colorpall28380 ve TCS34725 gibi RGB algılayıcıları karşılaştırılmış ve ölçüm değerleri detaylı şekilde incelenmiştir. Bu araştırmanın sonuçları Tablo 1'de sunulmaktadır.

Tablo 1. Algılayıcı RGB Kalibrasyon Faktörleri Karşılaştırma Sonuçları (Sensor RGB Calibration Factors Comparison Results)

Test Materyalleri	TCS3200 RGB Kalibrasyon Faktörleri	Colorpall28380 RGB Kalibrasyon Faktörleri	TCS34725 RGB Kalibrasyon Faktörleri
Kırmızı Plaka	1.00, 0.98, 0.97	1.26, 0.81, 0.82	1.04, 0.98, 0.98
Yeşil Plaka	0.96, 0.96, 0.96	0.90, 0.84, 0.87	0.91, 0.93, 0.98
Mavi Plaka	0.96, 0.95, 0.92	0.91, 0.85, 0.83	0.84, 0.97, 0.93
2022 ortalama fiyatı	200 TL	800 TL	100 TL

Çalışmada, TCS3200, ColorPall28380, TCS34725 algılayıcılarının kırmızı, yeşil ve mavi plaka test materyal örnekleri üzerinden ölçümlene faktörleri karşılaştırılmış ve bunların 2022 yılı ortalama fiyatları sunulmuştur. TCS34725 gibi renk algılayıcılarının farklı renk plakaları üzerinde Arduino ile doğru kalibre edildiğinde, kabul edilebilir doğruluk paylarına ulaşarak başarılı renk ölçümleri gerçekleştirdiği gözlemlenmiştir. Çalışmada fayda-maliyet oranı açısından en uygun algılayıcı tipinin TCS34725 olduğu sonucuna varılmıştır. Geliştirdiğimiz robotta kullanılan TCS34725 algılayıcısının seçiminde bu çalışmadaki sunulan bilgilerden faydalanılmıştır. Seçimde, ölçümlene faktör değerleri, saha şartlarında kabul edilebilir sonuçlar üretebilmesi ve düşük fiyatlı olması nedeniyle TCS34725 algılayıcısı tercih edilmiştir.

Bu araçların yanı sıra hareketli bir bant üzerinde, kutu renklerini tespit edip gerekli yerleştirmelerin robot kollar ile yapıldığı çalışmaya da ulaşılmıştır (Hız, 2019). Bu çalışmada PLC kontrollü bir düzenekte, renkli toplar bir konveyör bant üzerinde hareket etmekte, düzenekte yer alan bir KS-C2 tipi algılayıcı topların rengini ayırmakta, ayrılan renklere göre toplar vakumlu bir robot kol yardımıyla farklı kutulara yerleştirilmektedir.

Güntürkün vd. (2020) yaptıkları çalışmada, PLC ile elektro-pnömatik kontrollü renk seçici robot kol tasarımı hazırlamışlar ve 800 grama kadar olan ağırlıklarda başarılı sonuçlar almalarına rağmen, daha ağır materyallerde hidrolik sistemleri önermişlerdir. Bu çalışmada ise ağırlığı yüksek materyallerle çalışmak için pnömatik veya hidrolik sistemler değil, elektrikli servo motorlar tarafından kontrol edilen mekanik sistemler kullanılmıştır. Lojistik depolara gelen ürünlerin farklı ağırlıklarda olabileceği düşünüldüğünde pnömatik sistemlerde ağırlık problemi ortaya çıkacaktır.

3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Robotun tasarımında kullanılacak materyal ve yöntemler dört başlıkta planlanmıştır. Bunlar; robotun hareketlerinde belirleyici rol oynayacak mekanik tasarım aşaması, robotun yazılımının fiziksel dünyayla ile bağlantısını kuracak elektronik tasarım, robotun tüm çalışma sistemini yürütecek yazılım tasarımı ve bu üç birimi birlikte çalışacak biçimde bir araya getirecek olan montaj aşaması.

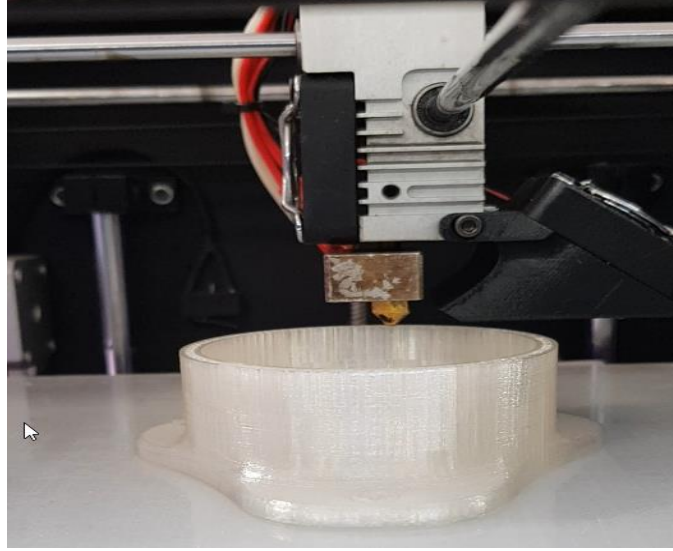
3.1. Mekanik Tasarım (Mechanical Design)

Robotun mekanik tasarımı; Kutuları depo yerlerine yerleştirecek robot kol, kutuları renk ölçüm bölümüne

yönlendirecek yürüyen bant ve tüm sistemi bir arada tutacak ve bütünlük oluşturacak omurga olarak üç grupta değerlendirilmiştir. Prototip hazırlanırken, mekanik tasarım elemanlarının tamamı üç boyutlu yazıcılarda üretilmiştir.

3.1.1. Robot Kol Tasarımı (Robot Arm Design)

Robot kol, Thingiverse 3d paylaşım sitesinde, daGHIZmo kullanıcı adında bir tasarımcı tarafından paylaşılan, açık kaynak kodlu, EEZYbotARM olarak tanımlanan robot modelden yola çıkılarak geliştirilmiştir (daGHIZmo, 2015). daGIZMO'nun orijinal tasarımındaki boyutlar, geliştirilen prototipin tasarlanan omurgasının boyutlarıyla tam uyumlu olmaması nedeniyle, tasarım düzeneği yeniden ölçeklendirilmiştir. Şekil 2'de robot kolun üretim aşamasından bir görüntü gösterilmiştir. Parçaların tamamı zaxe x1 3d yazıcı ile yaklaşık 400 saatte üretilmiştir.

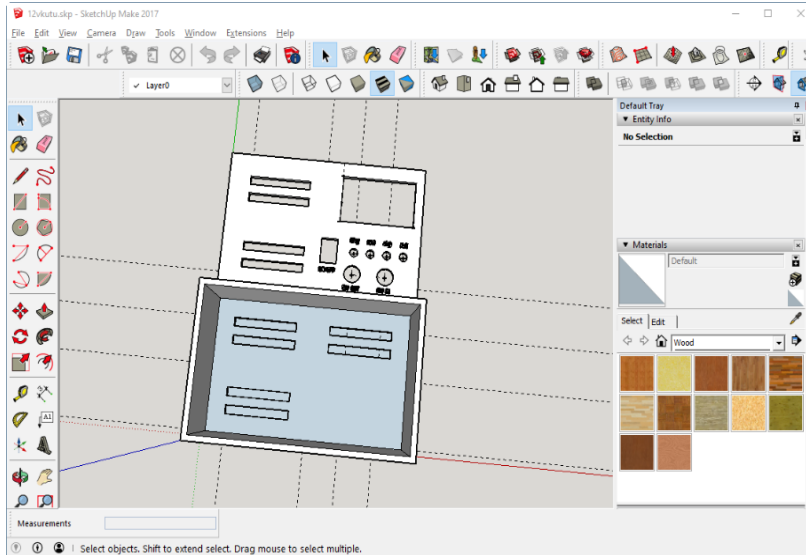


Şekil 2. ZAXE X1 3D Yazıcı ile parça üretimi (Parts production with the ZAXE X1 3D Printer)

Parçaların üretimi esnasında; prototipin çalışma prensipleri, maruz kalacağı sürtünme ve taşınması gereken ağırlık gibi faktörler göz önüne alınarak ABS tipi plastik hammadde kullanılmıştır.

3.1.2. Yürüyen Bant Tasarımı (Walking Belt Design)

Yürüme bandı Sketchup programında tasarlanmıştır. Yaklaşık 150 parça olarak tasarlanan yürüme bandını oluşturmak için uygulama üzerinde yaklaşık 20 model çizimi oluşturuldu. Yürüyen bandın hareketli parçaları yani bant bölümü, milleri, bandı bir arada tutan omurga kısımları dahil bandın tüm mekanik aksamı 3d yazıcıda basılacak şekilde tasarlanmıştır. Parçaların tasarım aşamasına örnek bir Sketchup programı ekran görüntüsü Şekil 3'te sunulmaktadır.



Şekil 3. Robotun Parçalarının Sketchup Programında Tasarımı (Design of Robot Parts in Sketchup Program)

Yapılan araştırmalarda tamamı plastikten üretilmiş bir yürüyen bant örneğine rastlanmamasına rağmen, bu çalışmada, miller dahil tamamı plastik malzemeden oluşan yürüyen bant örneği geliştirilmiştir. Yaklaşık 200 plastik parçadan tasarlanıp üretilen yürüyen bant modeli Şekil 4'te görölmektedir.



Şekil 4. Yürüyen Bant Bölümü (Moving Belt Section)

Tasarlanan bu ürünün gövdesinde, bant bölümünde ve hareketli noktalarında hiçbir metal veya başka malzeme kullanılmayıp tamamı 3 boyutlu yazıcı ile üretilmesinden dolayı bu üretilen bant diğer çalışmalardan bu yönüyle farklılaşmaktadır.

3.1.3. Omurga Dizaynı (Backbone Design)

Robot kol ve yürüyen bant dışında sistemin omurgasını ve destek mekanizmalarını oluşturan tüm parçalar Sketchup programında özėün Şekilde tasarlanarak 3d yazıcıda üretilmiştir. Montaj sırasında kullanılan elemanlar:

- 3 renkli kutu,
- Renkli kutuların içine yerleştirilen 3 kutu,
- Elektronik kontrol devrelerinin içinde gizlenen 1 kutu,
- Güç ünitesinin içinde gizlenen 1 kutu,
- Algılayıcılar içinde gizlenen 2 kutu,
- Kabloların gizleneceği 12 kanal ve
- Bütün yapıyı bir arada tutacak ve birbirine yapıştırılacak 9 platform.

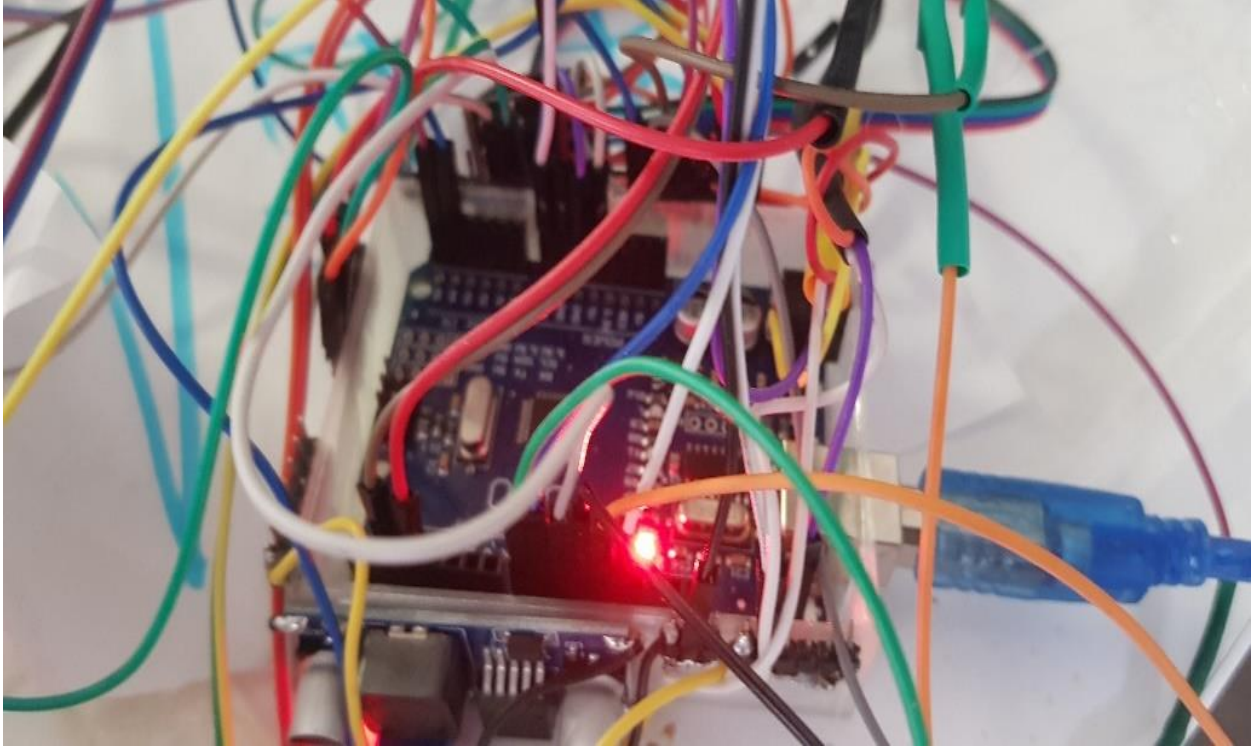
Bu elemanlar modellenen tasarıma uygun Şekilde montaj aşamasında bir araya getirilmiştir.

3.2. Elektronik Tasarım (Electronic Design)

Uygulamada kullanılan temel elektronik parçaları şunlardır:

- Yürüyen bantı hareket ettirmek için 1 adet Nanotron Nema17HS4401 step motor,
- Yürüyen bant üzerine kutu konduğunu ve renk ölçüm algılayıcısının önünde kutu bulunduğunu algılamak için 2 adet LJ12A3-4-Z/BY endüktif PNP proximity algılayıcı,
- Bant üzerindeki kutunun rengini algılamak için 1 adet TCS34725 RGB renk algılayıcısı,
- Robot kolu hareket ettirmek için 4 adet SG90 RC mini servo motor,
- Step motoru yönetebilmek için 1 adet DRV8825 step motor sürücü kart,
- Bütün sistemi kontrol edebilmek için 1 adet Arduino Uno R3 mikro denetleyici,
- Sistemin bütün parçalarına güç verebilmek için bir adet 12V/3A dizüstü bilgisayar adaptörü,
- Farklı voltajlarda çalışan motorları, kontrol kartlarını ve algılayıcıları besleyebilmek için 1 adet LM2596 step down modöü ve
- İnternete kablosuz çıkışı için 1 adet ESP8266 wi-fi seri alıcı modöü (serial transceiver modöü).

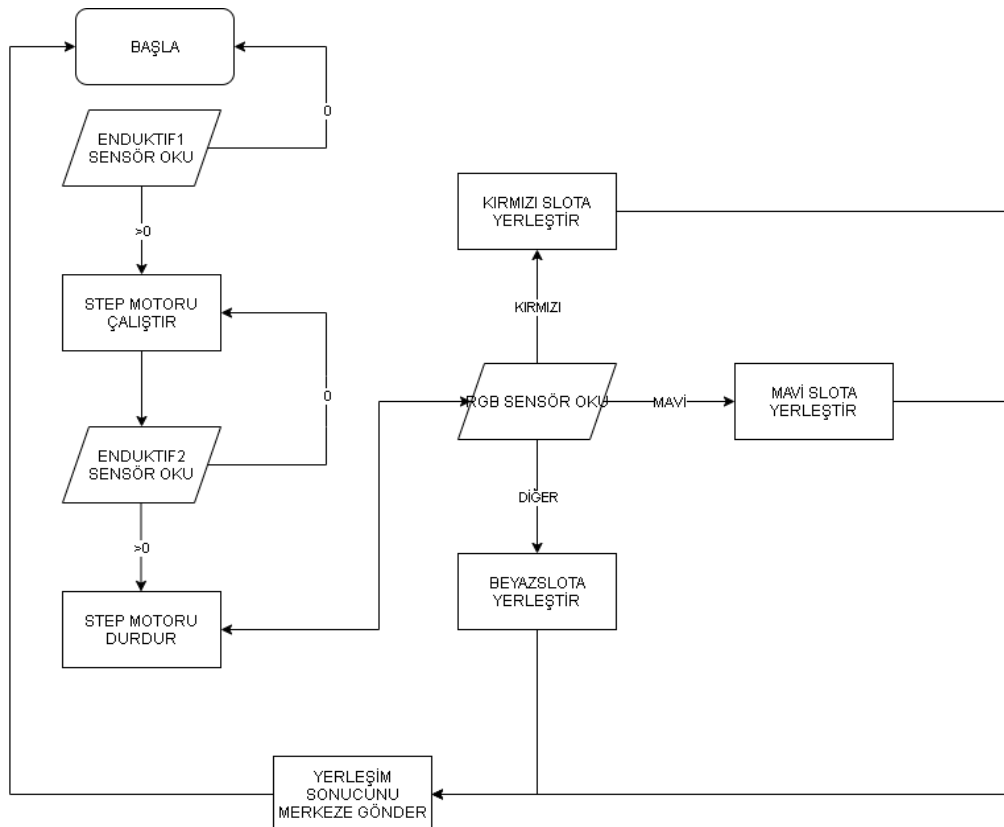
Bu donanım bileşenlerinin çalışmaya uygun şekilde bir araya getirilmesi sonucunda oluşan devre bağlantı yapısına ait örnek Şekil 5'de gösterilmektedir.



Şekil 5. Test Aşamasındaki Arduino R3 Ünitesi ve LM2596 Modülü (Testing Arduino R3 Unit and LM2596 Module)

3.3. Yazılım Tasarımı (Software Design)

Geliştirilen yazılıma ait akış diyagramını Şekil 6'da gösterilmektedir.



Şekil 6. Robot Uygulaması Temel Çalışma Akış Diyagramı (Robot Application Basic Operation Flow Chart)

Hazırlanan yazılımın tasarımı, yürüyen bandın en başındaki endüktif algılayıcının sürekli izlenmesine dayanır. Bu algılayıcıdan sıfır değeri döndükçe, bandın başında herhangi bir kutu olmadığı anlaşılıp sistem beklemede tutulur. Endüktüf1 isimli bu algılayıcıdan, sıfır (0) dışında bir değer döndüğünde, yürüyen banda bir kutu koyulduğu anlaşılır ve yürüyen bandın hareket etmesini sağlayan step motor harekete geçirilir.

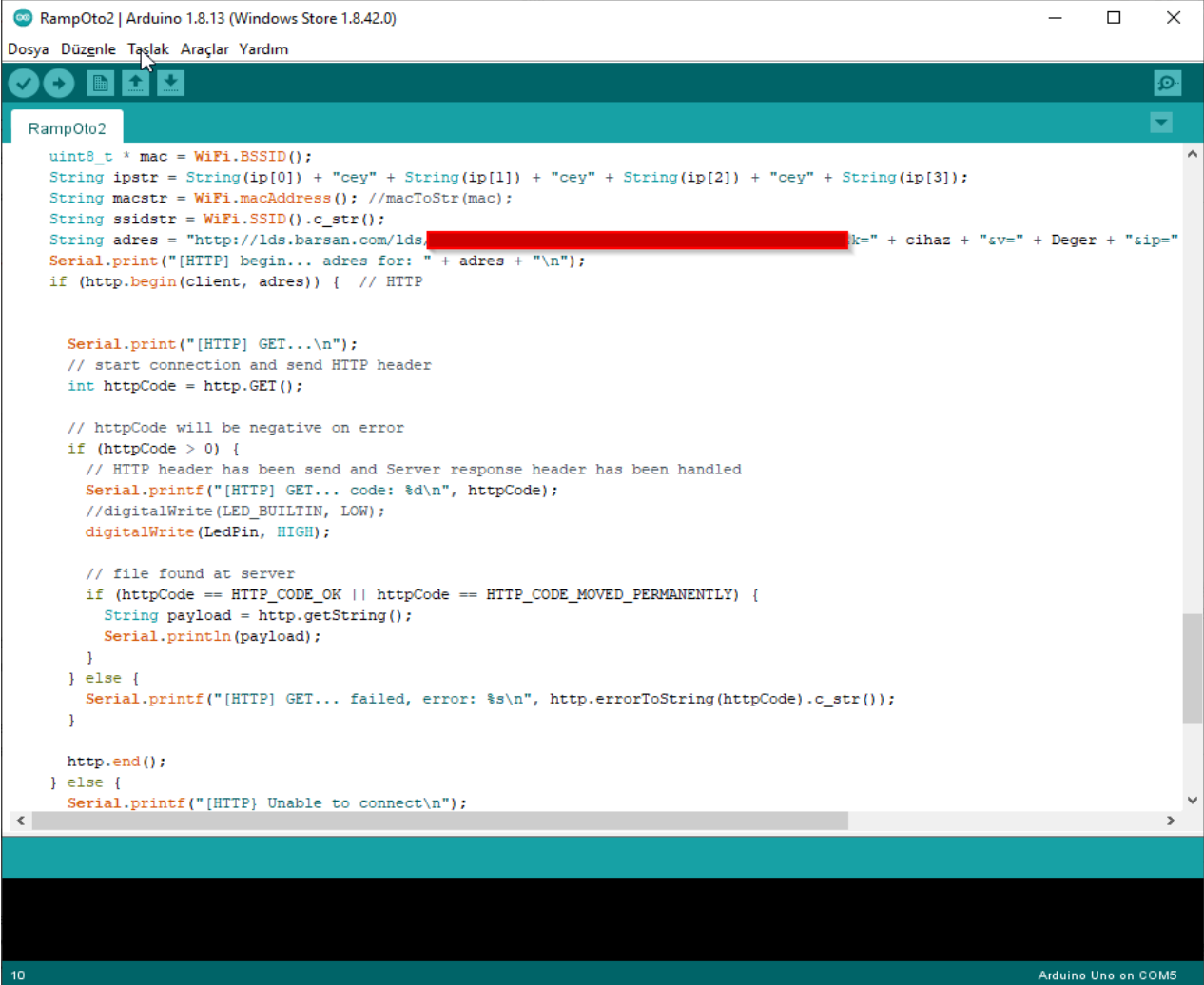
Yürüyen bant çalışır durumdayken, renk ölçüm algılayıcısının bulunduğu noktada bulunan Endüktif2 isimli algılayıcı izlenir. Bundan 0 dışında bir değer döndüğünde, kutunun renk algılayıcısının önüne geldiği anlaşılır. Step motora gönderilen akım kesilerek yürüyen bandın durması sağlanır.

Bu aşamada TCS34725 RGB algılayıcısına, okuma komutu gönderilir ve algılayıcı yanıt değeri beklenir. Bu işlem, en doğru sonucu elde etmek için 10 kez tekrarlanır. Gelen ışık değerlerinin ortalaması alınarak kutunun renk skalası tespit edilir.

Renk tespitinin sonucuna göre, robot kolu yöneten servo motorlar harekete geçirilir. Kutunun ilgili bölüme yerleştirilmesi robot kol aracılığıyla sağlanır.

Arduino ünitesindeki kodların tamamı Arduino'nun kendi geliştirme ortamında yazılmış ve geliştirmede bu kartın kendine has C tabanlı programlama dili kullanılmıştır. Sensörden alınan renk değeri, her yerleşim sonrasında bir web sayfasına gönderilerek bir veri tabanına kaydedilmiştir. Bu web sayfasının hazırlanmasında C# programlama dili kullanılmıştır.

Geliştirilen robotun çalışması için hazırlanan Arduino yazılım kodlarından renk sensörü değerlerinin kablosuz ağ üzerinden bir web sunucusuna gönderildiği örnek bir kod parçası Şekil 7'de gösterilmektedir.



```

RampOto2 | Arduino 1.8.13 (Windows Store 1.8.42.0)
Dosya Düzenle Taşlak Araçlar Yardım

RampOto2

uint8_t * mac = WiFi.BSSID();
String ipstr = String(ip[0]) + "cey" + String(ip[1]) + "cey" + String(ip[2]) + "cey" + String(ip[3]);
String macstr = WiFi.macAddress(); //macToStr(mac);
String ssidstr = WiFi.SSID().c_str();
String adres = "http://lds.barsan.com/lds/";
Serial.print("[HTTP] begin... adres for: " + adres + "\n");
if (http.begin(client, adres)) { // HTTP

    Serial.print("[HTTP] GET...\n");
    // start connection and send HTTP header
    int httpCode = http.GET();

    // httpCode will be negative on error
    if (httpCode > 0) {
        // HTTP header has been send and Server response header has been handled
        Serial.printf("[HTTP] GET... code: %d\n", httpCode);
        //digitalWrite(LED_BUILTIN, LOW);
        digitalWrite(LedPin, HIGH);

        // file found at server
        if (httpCode == HTTP_CODE_OK || httpCode == HTTP_CODE_MOVED_PERMANENTLY) {
            String payload = http.getString();
            Serial.println(payload);
        }
        else {
            Serial.printf("[HTTP] GET... failed, error: %s\n", http.errorToString(httpCode).c_str());
        }
    }
    http.end();
} else {
    Serial.printf("[HTTP] Unable to connect\n");
}

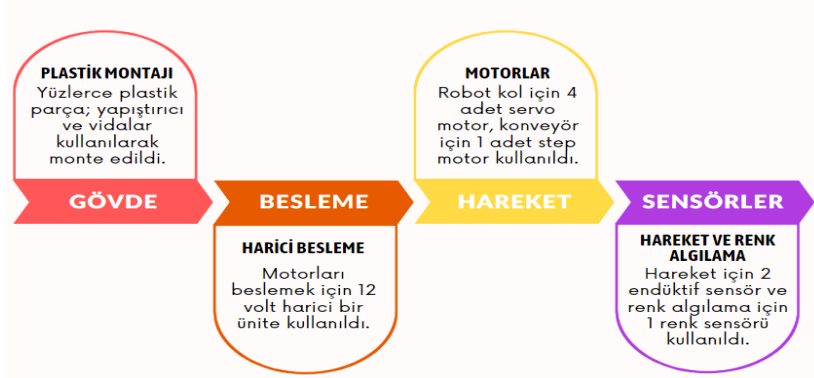
```

Şekil 7. Renk Dedektöründen Değer Çıkarmaya Yönelik Kod Parçasığı Örneği (Code Snippet Example for Extracting Value from Color Detector)

Renk algılayıcısından okunan değerler, yerleşim sonunda wi-fi ağıyla get metodu kullanılarak bir web sayfasına gönderilmektedir.

3.4. Montaj (Assembly)

Projenin ön tasarımı, çizimleri ve mekanik parçaların 3d yazıcıda hazırlanmasının ardından, birleştirme ve montaj süreçlerine geçildi. Montaj sürecinin aşamaları Şekil 8'de gösterilmiştir.

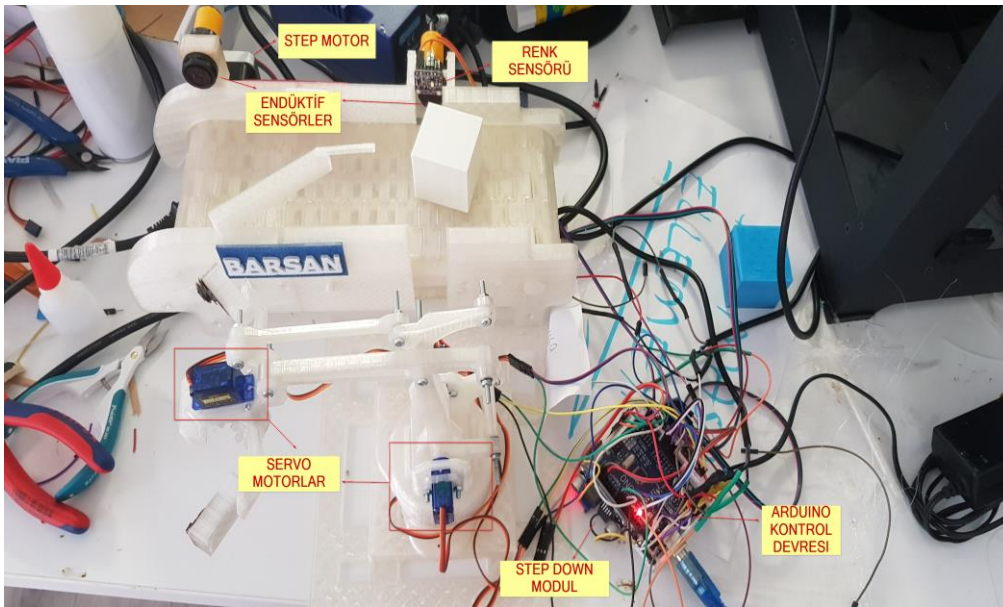


Şekil 8. Montaj Süreçlerinin Akışı (Flow of Assembly Processes)

200'den fazla parça içermesi sebebiyle önce yürüyen bandın montajına geçildi. Bandın bütün parçaları plastikten oluştuğu için, sürtünmeleri en aza indirene kadar parçaların birleştirme sürecinde revizyonlar yapıldı. Bazı parçaların yenilenerek tekrar basılması gerekti. Yürüyen bandın montajı aşamasında sürtünmeleri en aza indirmek için, kullanılan plastik türü olan ABS'ye uygun silikon yağlayıcılar da bir miktar kullanıldı.

Projenin robot kol ünitesi 3 boyutlu hareket edeceğinden kolu X, Y ve Z eksenlerinde hareket ettirecek 3 adet motorun yanı sıra kolun ucunda ağız kapatıp açmaya yarayan 1 adet motor daha eklenmiştir. Robot kol ünitesi için toplam 4 adet servo motor kullanıldı. Servo motorların kontrolörler aracılığıyla yönetilmesi nispeten basittir. Bu tür motorlarda üç soket vardır. Bu prizlerden biri; artı biri eksi diğeri sinyal soketleridir. Servo motorların sağlıklı çalışması ve titreşimin önlenmesi amacıyla mikrodenetleyici üzerinden değil, harici bir güç kaynağından beslenmesi tercih edilmiştir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta motorların kontrol sinyallerine cevap verebilmek için kontrol ünitesi ile aynı negatif hattı paylaşmasıdır. Bu durumda motorun sinyal ünitesinden farklı voltajlar gönderilerek motorun hareket edeceği açı ayarlanabilmektedir.

Bandın üzerine yeni bir kutu yerleştirildiğini anlamak için hareketli bandın başlangıç yönüne endüktif algılayıcı yerleştirildi. Kutunun renk ölçüm alanında olduğunun anlaşılabilmesi için aynı algılayıcıdan bir tane daha renk algılayıcının hemen altına yerleştirildi. Robot prototipinin mekanik ve elektronik elemanlarının montaj aşamasına ait örnek bir görüntü Şekil 9'da gösterilmektedir.



Şekil 9. Robotun Montaj Süreci (Robot Assembly Process)

Robotun montaj aşamasında kullanılan parçalar ve bunların montaj işlemleri aşağıdaki gibi gerçekleştirildi.

Endüktif algılayıcılar, algılama mesafesi ayarlanabilen, bu mesafe içinde bir cisimle karşılaştığında, sinyal kanalından belli bir akım gönderen algılayıcılardır. 3 bağlantı birimi bulunmaktadır. Artı ve eksi yanında cisim algıladığında veya algılanmadığında (PNP veya NPN tipine göre) belli bir akımda elektrik sinyali gönderdiği 3'üncü bir giriş mevcuttur.

Yürüyen bant hareket ettirmek için de bir step motor ünitesi kullanılmıştır. Kullandığımız step motor 1.6 amper akım çeken, oldukça güçlü bir motor çeşididir.

Step motorlar, DC ve servo motorlara göre kontrol edilmesi daha zor motor üniteleri olduğu için, bu motoru kontrol eden bir de harici devre projede kullanılmıştır.

Bu çevresel ünitelerin tamamına, ayrı ayrı hatlardan artı elektrik verilmiştir. Çünkü farklı voltajlarda çalışabilmektedir. Ayrıca mikro denetleyici üzerinden çevre ünitelere elektrik akımları vermek, mikro denetleyicinin güç sınırlarını zorlamakta ve devrelerin aşırı ısınıp yanmasına neden olabilmektedir. Ancak, cihazlarla haberleşmek için, bütün elektronik birimler ortak bir eksi hatta sonlandırılmalıdır.

Ayrıca projedeki elektronik devrelerin bazıları 5 volt, bazıları ise 12 volt gerilimle çalışacak biçimde üretildiği için, farklı voltaj ihtiyaçları ortaya çıkmıştır. Ayrı ayrı adaptörler kullanmak projenin pratikliğini olumsuz etkileyeceği için, tek bir 12 volt besleme ünitesi kullanılmış, 5 volt ile çalışan cihazlar ise araya bir step down (voltaj düşürücü) devre yardımıyla beslenmiştir.

4. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

Yapılan ilk testlerde endüktif algılayıcılarla yüzde yüz başarı sağlanmıştır. Yürüyen bant önüne koyulan kutular bütün testlerde başarılı şekilde algılanmış, motor çalıştırılmış ve kutu renk ölçüm bölümüne gelince ikinci endüktif algılayıcı kutuyu başarılı şekilde tespit etmiştir. İkinci endüktif algılayıcıdan gelen sinyal ile step motor durdurularak renk algılayıcısına renk ölçüm komutları gönderilmiştir.

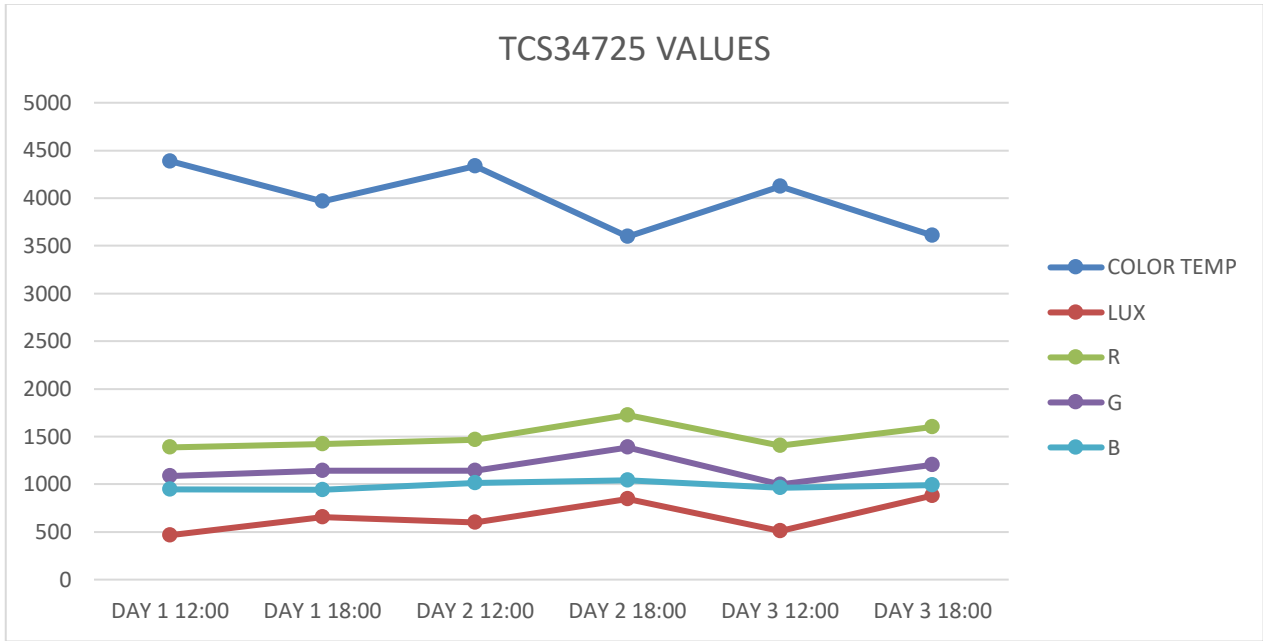
TCS34725 renk ölçüm algılayıcısı, renk okumaları için Adafruit_TCS34725.h isimli bir kütüphane barındırmaktadır. Bu kütüphane ile kullanıldığında, algılayıcıdan altı farklı değer bir seferde alınabilmektedir. Bu değerler; renk sıcaklığı, metrekaareye düşen lümen cinsinden ışık şiddeti, kırmızı, yeşil ve mavi değerleri, ayrıca filtrelenmemiş ölçüm değeridir.

TCS34725 algılayıcısı, üç gün boyunca, günde iki kez, saat 12:00 ve 18:00'da aynı mavi kutu üzerinde ölçümler yapılarak test edilmiştir. Bu ölçümler esnasında robotun yeri sabit tutularak, çevresel koşulların olabildiğince aynı olması amaçlanmıştır. Ölçüm hep aynı mavi kutu ile denenmiştir. Kutunun her seferinde algılayıcıya tam olarak 5 mm uzaklıkta olması sağlanmıştır. Her ölçüm zamanı, algılayıcıdan 10 ölçüm sonucu istenmiş, bu 10 ölçüm sonucunun değerlerinin ortalaması alınıp tam sayıya çevrilmiştir. 3 gün boyunca yapılan ölçüm sonuçları Tablo 2'de gösterilmektedir.

Tablo 2. TCS34725 Ölçüm Sonuçları (TCS34725 Measurement Results)

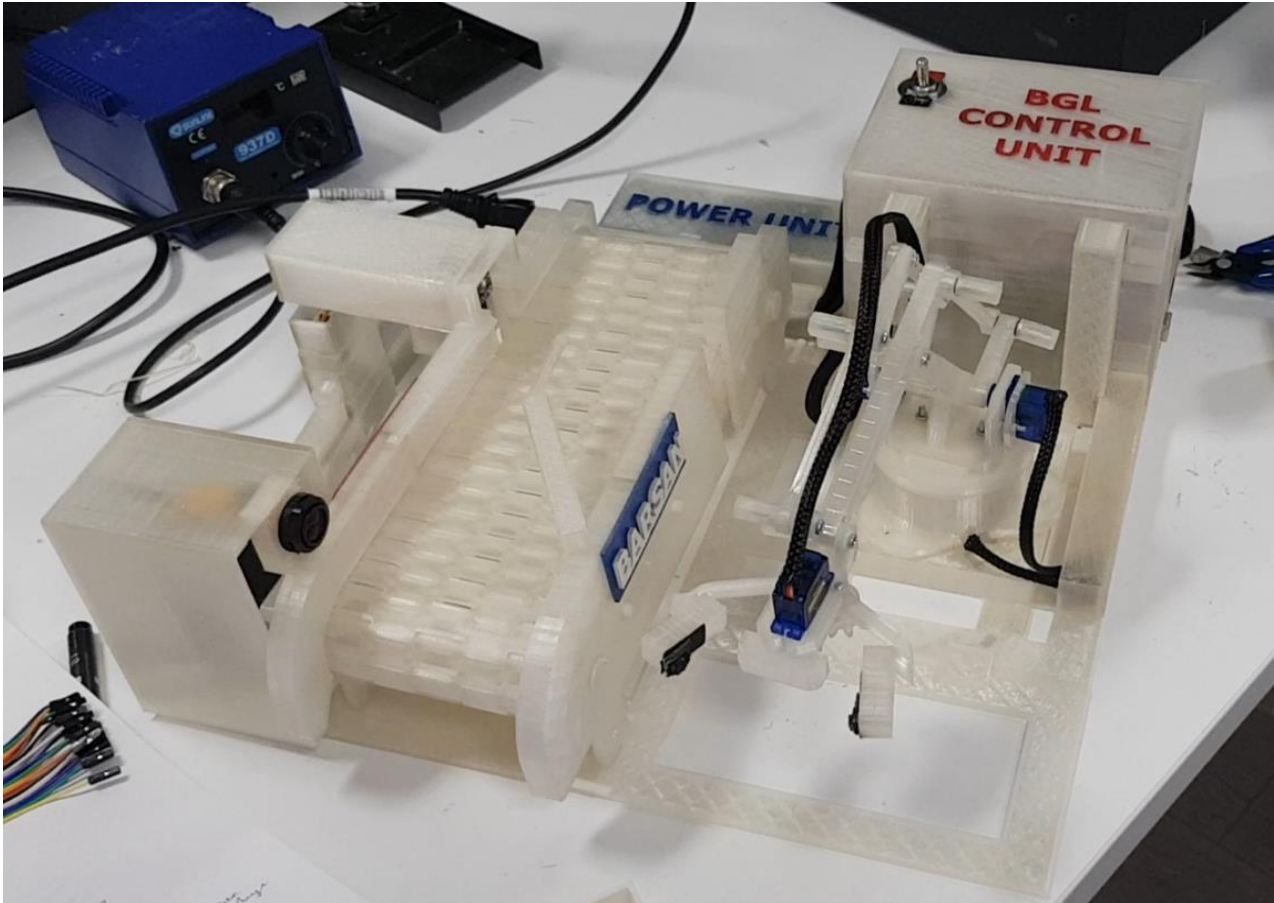
Ölçüm zamanı	Renk sıcaklığı	LUX	R	G	B
Gün 1- 12:00	4388	466	1386	1085	945
Gün 1- 18:00	3966	655	1420	1140	942
Gün 2- 12:00	4333	599	1466	1142	1014
Gün 2- 18:00	3596	844	1725	1385	1041
Gün 3- 12:00	4121	512	1402	998	965
Gün 3- 18:00	3606	881	1602	1201	989

Bu deneysel ölçümlere göre TCS34725 algılayıcısından okunan verilerin dış ortam ışık durumundan büyük ölçüde etkilendiği belirlenmiş ve buna bağlı olarak farklı zamanlarda ve farklı ışık koşullarında çok sık yeniden kalibre edilmesi gerektiği gözlemlenmiştir. TCS34725 ölçüm sonuçlarının değişim grafiği Şekil 10'da gösterilmektedir.



Şekil 10. TCS34725 Ölçüm Sonuçları Değişim Grafiği (TCS34725 Measurement Results Change Graph)

Bu yapılan ölçümler ışığında mavi, kırmızı ve beyaz kutuların tespitinde ölçülen değer aralıklarının yüksek olabileceği hesaba katılarak, değer aralıkları da yüksek tutuldu. Günün belli zamanlarında tekrar tekrar ölçümler yapılarak, kutuların hangi ışık koşullarında, hangi değerleri döndürebileceği gözlemlenerek, kutunun rengine karar verilen kod parçacıklarında bu değerler kullanıldı. Geliştirilen robot prototipi Şekil 11'de gösterilmektedir.



Şekil 11. Robot Prototipi (Robot Prototype)

Geliştirme ve test süreçleri tamamlanan robot devreye alınarak 10 gün boyunca robot kutuları ile beslendi. Farklı renkteki 197 kutunun robot yerleştirme sonuçları Tablo 3'te gösterilmektedir.

Tablo 3. Renkli Kutuların Yerleştirme Sonuçları (Placement Results of Colored Boxes)

Yerleşim bölgesi	Kırmızı kutu	Mavi kutu	Beyaz kutu
Kırmızı bölge	62	0	0
Mavi bölge	0	50	0
Beyaz bölge	1	1	83

Elde edilen sonuçlara göre 197 kutunun tamamı endüktif algılayıcılar tarafından başarılı bir şekilde algılandı, sistem çalıştırıldı. 195 kutunun renkleri doğru olarak algılanarak farklı noktalara yönlendirildi. Düzeneğe koyulan 63 kırmızı kutudan 62 tanesi kırmızı bölgeye yerleştirilmiş, 1 kutu ise doğru tespit edilemeyerek beyaz bölgeye yerleştirilmiştir. 51 mavi kutudan 50 tanesi mavi bölgeye, 1 tanesi ise beyaz bölgeye yerleştirilmiştir. 83 beyaz kutunun tamamı ise beyaz bölgeye yerleştirilmiştir. Özetle elde edilen deney sonuçlarına göre 197 kutunun yaklaşık %99'u robot tarafından istenilen bölgeye başarılı bir şekilde yerleştirilmiştir.

Literatürde benzer özelliklere sahip bir çalışma Hız (2019) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada kullanılan cihaz türlerinin benzer ve farklı yönlerine ilişkin özet bilgiler Tablo 3'te sunulmaktadır.

Tablo 3. Benzer İki Çalışmanın Ortak ve Farklı Yanları (Common and Different Sides of Two Similar Studies)

	Hız (2019)'a ait çalışma		Depolar için kutu renk seçim robotu	
Ana kontrol tipi	PLC	PLC endüstriyel koşullarda daha sağlam	Arduino	Arduino daha ucuz ve daha kolay programlanabilir
Robot kol ana materyali	Metal	Metal malzemeler daha sağlam	Plastik	Plastik düzenek tasarımı daha kolay değiştirilebilir
Robot kol tutucu tipi	Vakum tutucu	Vakum tutucular daha hassas	Servo elektrikli tutucu	Servo tutucular daha ağır materyal taşıyabilir
Renk algılayıcı tipi	KS-C2	KS-C2 endüstriyel kullanımı daha yaygın	TCS34725	Fiyat avantajı

Her iki çalışma bu bir takım benzerlikler gösterse de aralarında çok temel farklılıklar da mevcuttur. Özellikle robot kolun tutucu bölümünde hava kompresörlü ve vakumlu tutucular kullanmak depo operasyonlarında karşılaşılabilecek ağır malzemelerde yetersiz kalabilecektir. Bunu telafi etmek için ekonomik olmayan pahalı çözümler gerektirebilecektir. Oysa bu çalışmada kullanılan servo elektrikli tutucu, depolarda karşısına çıkabilecek farklı boyut ve ağırlıktaki malzemelerde daha esnek çalışma imkânı sağlayacaktır. Bunun yanında PLC cihazlar genelde oldukça pahalı cihazlardır ve programlanması üst düzey uzmanlık gerektirir. Arduinio denetleyiciler ise oldukça ucuz, yaygın ve programlanması nispeten kolay devrelerdir. Çalışma saha koşulları dikkate alınarak geliştirilen bu çalışmada kullanılan malzemeler daha ulaşılabilir ve daha ekonomik bir çözüm sunmaktadır.

5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Lojistik süreçlerinin büyük bir kısmını ise depolama operasyonları oluşturmaktadır. Operasyon süreçlerinin yürütülmesinde iş kazaları önemli bir konu olarak kabul edilmektedir. İş kazaları; depo operasyonlarda insan müdahalesinin fazla olması, zamanlama hataları, dikkat dağınıklıkları gibi birçok basit sayılabilecek sebeplere anlık sürelerde gerçekleşmektedir. Özellikle forklift ve benzeri çalışan endüstriyel araçlarla yapılan depo operasyonları sırasında bu tür kazaların yaşanma ihtimali artabilmekte, kazanın olumsuz etkisi ise hayati derecede yüksek olabilmektedir. Bu nedenle depo operasyonları sırasında bu tür kazaların ve bu kazalardan kaynaklanan maddi/manevi kayıpların önlenmesi ve en aza indirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Diğer husus insan yorumuna dayalı olarak yürütülen depolama faaliyetlerinde kişide oluşan yorgunluk ve dikkat dağınıklıkları gibi nedenler ürün depo konumlarının yanlış saptanmasına, bunun bir sonucu olarak operasyonel hatalara, zaman kaybına, maliyet artışı ve verimsizlik gibi birçok olumsuz problemle sebep olabilmektedir. Her iki problemin kök nedeni, depo operasyonlarında insan emek ve iş gücünün yoğun kullanılması, yorgunluk, dalgınlık gibi insanın doğasından kaynaklı nedenlerin ağırlıklı olduğu gözlemlenmiştir. Bu problemlerin çözümünde robotlar dahil günümüz teknoloji, araç ve gereçlerinden daha fazla yararlanmanın bir çözüm olabileceği öngörülmüştür.

Bu çalışmada bir lojistik depoya gelen bir kolinin yerinin ve taşınmasının belirlenmesinde kullanılabilecek veya

üzerinde bulunan etiket rengine göre sevk edilebilecek bir robot numunesi üretilmesi amaçlanmaktadır. Robotun mekanik koşu bandının tasarımında Sketchup aracı kullanıldı. Gerçek saha koşullarını taklit eden Arduino tabanlı ortamda geliştirilen örnek robotun motor, algılayıcı ve elektronik aksamlar dışında tüm parçaları plastik malzemeler kullanılarak üç boyutlu yazıcıda yaklaşık 400 saatte üretilmiştir.

Saha koşullarına mümkün olduğunca yakın tasarlanan bu prototip robot, yaklaşık yüzde doksan dokuz başarı oranıyla çalıştırıldı. Gerçek saha koşullarında uygulandığında yoğun iş süreçlerinde plastik parçalar yerine metal parçaların kullanılması uzun süreli dayanıklılık açısından daha uygun olacağı düşünülmektedir. Endüktif algılayıcıların ölçüm sonuçları oldukça tatmin edici olduğu için gerçek iş ortamlarında aynı algılayıcılar kullanılabilir. Gerçek depo uygulamalarında koliler içerdikleri malzemeler bakımından oldukça ağır malzeme içerebilir. Saha uygulamalarında bu mekanizmaların plastik yerine dayanıklı metallerden üretimi düşünülebilir. Bu tür bir malzeme değişikliği yapılması durumunda gerçek üretim aşamasında kullanılacak step motorları da daha güçlü olmalıdır. Aynı durum servo motorlar için de geçerlidir. Prototipte kullanılan bütün motorların çalışma biçimleri aynı kalmak kaydıyla, saha şartlarında ayırt edilecek malzemenin yapısına göre motor gücü hesaplanarak daha yüksek olanlar tercih edilmelidir.

Renk ölçümü ile ilgili algılayıcılarda farklı alternatiflere yönelerek ürünün başarı oranı artırılabilir. Ölçümlerde daha tutarlı sonuçlar alınan renk algılayıcıları, günün her vakti ve farklı ışık koşullarında daha dar aralıklarda sonuçlar verebilir. Bu durum yazılım tabanlı tespit işlemlerini kolaylaştırabilir. Bu çalışmanın devamı olarak, farklı ışık koşullarında daha başarılı sonuçların ortaya çıkmasını desteklemek amacıyla makine öğrenmesi tabanlı yeni bir algoritma ile robotun yazılımını desteklemek olabilir.

Renk ölçüm algılayıcısında algılama hassasiyeti yüksek farklı alternatifler kullanılarak ürünün algılama ve ayırt etmedeki başarı oranı daha da artırılabilir. Ölçüm değerlerinde daha tutarlı sonuçlar alınabilen renk algılayıcıları, günün her vakti ve farklı ışık koşullarında daha dar aralıklarda veriler üretebilir. Bu durum yazılım yoluyla gerçekleştirilen ürün tespit işlemlerini kolaylaştırabilir.

Gelecek çalışmalarda başarı oranı üzerinde yapılabilecek iyileştirme yöntemlerinden bir diğeri de, farklı ışık koşullarında hangi değerlerin ortaya çıktığını tespit edebilen, makine öğrenmesi tabanlı yeni bir algoritma kullanılarak robotun mevcut yazılımının desteklenmesidir. Araştırmacılar çalışmayı daha ileriye taşıyabilecek benzer alanlarda yeni çalışmalar yürütebilirler.

Sonuç olarak kutuların yerleştirileceği konumların doğru belirlenmesinde ve sevkiyatında yardımcı olabilecek örnek bir robot prototipi geliştirilmiştir. Robotun tüm mekanik parçaları orijinal olarak tasarlanmıştır. Kutu üzerindeki etiketin rengine göre pozisyon belirleyen robot prototipinin üretilmesi ve lojistik alanında uygulanabilirliğinin test edilmiştir. Başarı testlerinde 197 kutudan 195'inin (yaklaşık % 99'unun) robot tarafından istenilen alana başarıyla yerleştirildiği görüldü.

Bu çalışmada kullanılan teknikler, cihazların ve uygulamaların yetenekleri ve fiziksel depolama ortamı koşulları ile sınırlıdır. Bu çözüm, insan-makine etkileşiminin yoğun olduğu depolarda iş kazalarının veya hayati etkilerinin azaltılmasına katkı sunacaktır. Ağır işçilik gerektiren tehlikeli işlerin daha fazla robot tipi makinelerle yapılacak olması insan sağlığını ve yaşam kalitesini artıracak gibi işyeri verimliliğine ve sürdürülebilirliğine de olumlu katkı sağlayacaktır.

Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışmanın yürütülmesinde sağladıkları çalışma ortamı ve destek için Barsan Global Lojistik şirket yönetimine ve uzman ekiplerine teşekkür ederiz. Ayrıca çalışmamızı sunma fırsatını bize sağlayan derginin editör ve yönetimine, değerli görüşleriyle katkıda bulunan hakemlere de teşekkür ederiz.

We would like to thank Barsan Global Logistics company management and expert teams for the working environment and support they provided in the execution of this study. We would also like to thank the editor and management of the journal who gave us the opportunity to present our study, and the referees who contributed with their valuable opinions.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

Kaynaklar (References)

- Agudo, J., Pardo, P., Sánchez, H., Pérez, Á., & Suero, M. (2014). M.I. A Low-Cost Real Color Picker Based on Arduino. *Sensors*, 11943-11956.
- Aung, M. m., & Oo, S. A. (2018). Design and Implementation of Trainable Robotic Arm. *International Journal of Science Engineering and Technology Research* 7(2), 230-234.
- Badamasi, Y. A. (2014). The working principle of an Arduino. 2014 11th International Conference on Electronics, Computer and Computation (ICECCO) (p. 1). Abuja, Nigeria: IEEE.
- Beyaz, A. (2017). Comparison of arduino based inexpensive colormeters effectiveness at some agricultural, products. *Fresenius Environ. Bull*, 6457-6469.
- Cippitelli, E., Fioranelli, F., Gambi, E., & Spinsante, S. (2017). Radar and RGB-Depth Sensors for Fall Detection: A Review. *IEEE Sensors Journal* (Volume: 17, Issue: 12, June15, 15 2017), 3585-3604.
- daGHIZmo. (2015, Eylül 22). EEZYbotARM. Retrieved from Makerbot Thingiverse: <https://www.thingiverse.com/thing:1015238>
- Elfasakhany, A., Yanez, E., Baylon, K., & Salgado, R. (2011). Design and Development of a Competitive Low-Cost Robot. *Modern Mechanical Engineering*, 47-55.
- Gökcan, S. E. & Kahraman, N. (2019). Robotic Surface Material Recognition System Using Sensor Network . *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi* , 7 (1) , 81-89 . DOI: 10.21923/jesd.452153
- Groover, M. (2014). *Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems*. John Wiley Publishing.
- Güntürkün, R., Hız, O., & Şahin, H. (2020). Design and Application of Plc Controlled Robotic Arm Choosing Objects According to Their Color. *Electronic Letters on Science & Engineering* 16(2), 52-62
- Gürfidan, R. (2015). Kinect teknolojisi kullanılarak robot kol kontrolü. Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Hız, O. (2019). *Cisimleri Renklerine Göre Seçen PLC Kontrollü Robot Kol Tasarımı ve Uygulaması*. Eskişehir: Dumlupınar Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi.
- Karacı, A., & Erdemir, M. (2017). Arduino ve Wifi Temelli Çok Sensörlü Robot Tasarımı ve Denetimi. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, Sayı 4, 435-442.
- Miller, D. P., & Nourbakhsh, I. (2016). Robotics for education. In *Springer handbook of robotics* (pp. 2115-2134). Springer, Cham.
- Myint, W. M., & Theingi. (2015). Kinematic Control of Pick and Place Robot Arm. *International Journal of Engineering and Techniques* 1(4), 63-70.
- Özturan, S., & Tanrıtanır, E. (2004). Otomasyon ve Otomasyon Sistemleri. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 31.
- Rifkin, J. (1995). *The End of Work: Decline of the Global Labor Force and the Dawn of the Post-market Era* . Putnam Publishing Group.
- Sihombing, P., Tommy, F., Sembiring, S., & Silitonga, N. (2019). The Citrus Fruit Sorting Device Automatically Based On Color Method By Using Tcs320 Color Sensor And Arduino Uno Microcontroller. *The 3rd International Conference on Computing and Applied Informatics* (pp. 1-6). Sumatera Utara, Indonesia: IOP Publishing.
- Sosyal, A., (1994). *Otomasyon ve Endüstri Mühendisliği, Sanayide Bilgisayar Kullanımı ve Otomasyon* (pp. 59- 61). İrfan Yayımcılık, İstanbul.
- Şahinaslan, E. (2020). Endüstri 4.0 Dönüşümünde Öne Çıkan Teknolojiler. *Fen Bilimleri ve Matematik Alanında Akademik Çalışmalar*, Gece Kitaplığı, Ankara, 61-78.
- Şahinaslan, E. , Günerkan, M. & Şahinaslan, Ö. (2023). Makine Öğrenmesinde Kategorik Veri Kodlama Tekniğinin Kullanımına Alternatif Bir Çözüm Yöntemi . *Journal of Intelligent Systems: Theory and Applications* , 6 (1) , 1-11 . DOI: 10.38016/jista.1140499
- Şahinaslan, Ö., Karataş, C. ve Şahinaslan, E. (2023). "Lojistik Depolarda Sipariş Toplama ve Konumlandırmaya Yönelik Yenilikçi Bir Yaklaşım", *Verimlilik Dergisi*, 57(3), 491-512. DOI: 10.51551/verimlilik.1188635
- Yalman, S., & Haşiloğlu, A. (2015). Hastanelerde Eş-Zamanlı İlaç Dağıtımı. *Tıp Teknolojisi Ulusal Kongresi* (pp. 432-435). Muğla: Biyomedikal ve Klinik Mühendisliği Derneği.