

YAYINCI
PUBLISHER



MÜHENDİSLİK BİLİMLERİ ve TASARIM DERGİSİ

**JOURNAL OF ENGINEERING
SCIENCES AND DESIGN**

e-ISSN: 1308-6693

Cilt/Volume: 12 Sayı/Issue : 2 Haziran/June 2024



İmtiyaz Sahibi / *Owner*

Deanery of Engineering and Natural Sciences Faculty, Suleyman Demirel University, Isparta, TURKIYE

Editörler / *Editors*

Gultekin OZDEMİR

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

Sehnaz Sule KAPLAN BEKAROĞLU

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

Fatih Ahmet SENEL

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

Karani KURTULUS

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

Ali AGCAL

Suleyman Demirel University, Isparta

Caglayan BALKAYA

Suleyman Demirel University, Isparta

Atilla BAYRAM

Van Yuzuncu Yil University, Van

Sehnaz Sule KAPLAN BEKAROĞLU

Suleyman Demirel University, Isparta

Mehmet Ali BELEN

Artvin Coruh University, Artvin

Ahmet CAGLAR

Akdeniz University, Antalya

Habib GURBUZ

Suleyman Demirel University, Isparta

Baris GUREL

Suleyman Demirel University, Isparta

Tahir Serkan IRMAK

Kocaeli University, Kocaeli

Mesud KAHRIMAN

Suleyman Demirel University, Isparta

Ayberk KAYA

Recep Tayyip Erdoğan University, Rize

Şemsettin KILINCARSLAN

Suleyman Demirel University, Isparta

Alper KUSCU

Suleyman Demirel University, Isparta

Mehmet Onur OLGUN

Suleyman Demirel University, Isparta

Mehmet OZCELİK

Suleyman Demirel University, Isparta

Muhammed Maruf OZTURK

Suleyman Demirel University, Isparta

Savas OZUN

Suleyman Demirel University, Isparta

Yunus PAMUKOĞLU

Suleyman Demirel University, Isparta

Olcay POLAT

Pamukkale University, Denizli

Hakan TONGAL

Suleyman Demirel University, Isparta

Volkan UZ

Izmir Institute of Technology, Izmir

Ali YALCIN

Suleyman Demirel University, Isparta

Mehmet Ali YALCINKAYA

Kırşehir Ahi Evran University, Kırşehir

Kerim YAPICI

Suleyman Demirel University, Isparta

Demet YILMAZ

Suleyman Demirel University, Isparta

Turgay AYDOĞAN

Suleyman Demirel University, Isparta

Danışma Kurulu / Editorial Advisory Board

Michael G. KAY
North Carolina State University, USA

Bedri TUC
Baskent University, Ankara, TR

Yun-Chia LIANG
Yuan Ze University, Taoyuan, TW

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

Alice E. SMITH
Auburn University, Auburn, USA

Fatma YALCINKAYA
Technical University of Liberec, Liberec, Czech Republic

Ravi SANKAR
University of South Florida, Florida, USA

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

Yayın Editörleri / Technical Editors

Ayşe BIYIKLI
Suleyman Demirel University, Isparta

Yasemin SIMSEK TURKER
Suleyman Demirel University, Isparta

Mehmet KIR
Suleyman Demirel University, Isparta

Onur Mustafa UZUM
Suleyman Demirel University, Isparta

Sıla YAMAN
Suleyman Demirel University, Isparta

Yabancı Dil Editörü / Foreign Language Editor

Ahmet UNAL
Suleyman Demirel University, Isparta

Dizin ve İndeksler / Abstracting & Indexing

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

Duyurular / Announcements

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

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

İçindekiler / *Contents*

Araştırma / *Research*

Sayfa / *Pages*

[1. MECHANICAL PROPERTIES OF BORON-DOPED-ZINC OXIDE THIN FILMS USING SPRAY PYROLYSIS TECHNIQUE](#)

[Kehinde M. Adeleke Taiwo G. Fadara Abiodun Ojetoye*Anthony Yinka Oyerinde Ayowumi
R. Soji-adekunle](#)

265-276

[2. YAPAY ZEKA KULLANILARAK TREN TEKERLEKLERİNİN YORULMA ÖZELLİKLERİNİN VEKİL MODELLENMESİ](#)

[Mehran Mahouti*Mehmet Sinan Komak Suat Yılmaz](#)

277-284

[3. TÜRKÇE KONUŞMADA DUYGU TANIMA İÇİN MAKİNE ÖĞRENME YÖNTEMLERİ VE DERİN ÖĞRENME TABANLI MODELLERİN KARŞILAŞTIRILMASI](#)

[Zekeriya Anıl Güven*](#)

285-297

[4. COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ \(CBS\) ORTAMINDA ANALİTİK HİYERARŞİ YÖNTEMİ \(AHY\) YÖNTEMİ KULLANILARAK TAŞKIN RİSK ANALİZİ: KARABÜK İLİ ÖRNEĞİ](#)

[Cansu Yurteri*](#)

298-318

[5. VIBRATION-BASED MEASUREMENT SYSTEM FOR BREAST TISSUE](#)

[Mehmet Ümit Ak Gürkan Bilgin Dilek Kaya Süleyman Bilgin*Adnan Kaya](#)

319-327

[6. INCEPTION SH: A NEW CNN MODEL BASED ON INCEPTION MODULE FOR CLASSIFYING SCENE IMAGES](#)

[Sedat Metlek*Halit Çetiner](#)

328-344

- [7. ÇÖLYAK HASTALARI İÇİN ISPARTA GÜLÜ \(ROSA DAMASCENA MILL.\) İLE ZENGİNLEŞTİRİLMİŞ GLUTENSİZ DONDURMA KÜLAHI GELİŞTİRİLMESİ](#) 345-356
[Elif Ece Gül Arzu Uğurel Biçici Hülya Gül*Sultan Acun](#)
- [8. 3D HOLLOW FABRIC PRODUCTION WITH MODIFIED DOBBY SAMPLE WEAVING MACHINE](#) 357-364
[Elifsu Hazal Morgül Güldemet Başal Sevda Altaş*Hüseyin Yavuzer Gülas](#)
- [9. BOR KATKILI GRAFEN OKSİT ÇÖZELTİLERİN EL ALETLERİNİN STERİLİZASYONUNDA ANTİBAKTERİYEL ETKİSİ](#) 365-376
[Ayça Dalbeyler Banu Esencan Türkaslan*](#)
- [10. AKRİLİK LİF İNCELİĞİ VE RELAKSE/RELAKSE OLMAMIŞ KARIŞIM ORANLARININ KAPSAMLI ANALİZİ: İPLİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİLERİ](#) 377-383
[Behzat Yıldırım*Muhammed İdris Aktaş Mehmet Topalbekiroğlu](#)
- [11. SYNTHESIS OF ANTIBACTERIAL PVA-AAM PICKERING EMULSION HYDROGELS \(PEHs\) FOR MEDICAL APPLICATIONS](#) 384-391
[Fatma Nur Parın*](#)
- [12. OTTOMAN CHARACTER RECOGNITION ON PRINTED DOCUMENTS USING DEEP LEARNING](#) 392-402
[Ali Alper Demir*Ufuk Ozkaya](#)
- [13. İOT CİHAZLARINDA İNSAN HATASINDAN KAYNAKLANAN GÜVENLİK AÇIKLARININ ANALİZİ](#) 403-415
[Mevlüt Sevinç*İsa Avcı](#)
- [14. INTELLIGENT METHODS IN CYBER DEFENCE: MACHINE LEARNING BASED PHISHING ATTACK DETECTION ON WEB PAGES](#) 416-429
[Remzi Gürfidan*](#)
- [15. FUTURE PROSPECTS OF RARE EARTH ELEMENTS IN COAL AND COAL ASH: BASED ON MAPPING OF GLOBAL RESEARCH \(1973-2023\)](#) 430-442
[Selin Karadirek*](#)

[16. AKADEMİK BAŞARININ VERİ MADENCİLİĞİ YÖNTEMLERİYLE TAHMİN EDİLMESİ](#)

443-454

[Mustafa Yağcı*](#)

[17. GÖRÜNTÜ ÖN İŞLEME TEKNİKLERİ VE DERİN ÖĞRENME İLE BİTKİ ZARARLILARININ SINIFLANDIRILMASI](#)

455-465

[Şevval Ezgi Eze Selcan Kaplan Berkaya*](#)



MECHANICAL PROPERTIES OF BORON-DOPED-ZINC OXIDE THIN FILMS USING SPRAY PYROLYSIS TECHNIQUE

Kehinde M. Adeleke¹, Taiwo G. Fadara², Abiodun A. Ojetoye^{1*}, Anthony Y. Oyerinde¹ and Ayowumi R. Soji-Adekunle¹

¹Department of Mechanical Engineering, Adeleke University, Ede, Nigeria

²Department of Mechanical Engineering and Engineering Technology, The Federal Polytechnic Ede, Nigeria

Keywords

Mechanical, Properties, Boron, Doped, Zinc, Oxide, Pyrolysis.

Abstract

This study aims to establish the mechanical properties of boron-doped Zinc Oxide (ZnO) thin film. Mechanical properties are important for engineering applications and are a focus of engineering materials. Using the spray pyrolysis process, a thin coating of boron-doped (ZnO) is created on a soda lime glass substrate at a variable percentage. An iron-constantan thermocouple was used to monitor the substrate's temperature while the film was being deposited at different temperatures. Metallurgical microscopy was used to determine the mechanical characteristics of the doped and undoped samples, including hardness, impact, and tensile strength. The results indicated that when zinc oxide is doped, variations in impact and hardness values are detected, and maximum stress increases with dopant concentration. However, when zinc oxide is undoped, stress and hardness increase with temperature.

SPREY PİROLİZ TEKNİĞİYLE BOR KATKILI ÇİNKO OKSİT İNCE FİLMLEİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ

Anahtar Kelimeler

Mekanik, Özellikler, Bor, Dopingli, Çinko, Oksit, Piroliz.

Öz

Bu çalışma, bor katkılı Çinko Oksit (ZnO) ince filmin mekanik özelliklerini belirlemeyi amaçlamaktadır. Mekanik özellikler mühendislik uygulamaları için önemlidir ve mühendislik malzemelerinin odak noktasıdır. Sprey piroliz işlemi kullanılarak, soda kireç camı alt tabaka üzerinde değişken bir oranda ince bir bor katkılı (ZnO) kaplama oluşturulmuştur. Film farklı sıcaklıklarda biriktirilirken alt tabakanın sıcaklığını izlemek için bir demir-konstantan termokupl kullanılmıştır. Katkılı ve katkısız numunelerin sertlik, darbe ve gerilme mukavemeti gibi mekanik özelliklerini belirlemek için metalurjik mikroskopi kullanılmıştır. Sonuçlar, çinko oksit katkılı olduğunda, darbe ve sertlik değerlerinde değişimler tespit edildiğini ve maksimum gerilimin katkı konsantrasyonu ile arttığını göstermiştir. Bununla birlikte, çinko oksit katkısız olduğunda, gerilme ve sertlik sıcaklıkla artmaktadır.

Cite

Adeleke, K.M., Fadara, T.G., Ojetoye, A.A., Oyerinde, A.Y., Soji-Adekunle, A.R. (2024). Mechanical Properties of Boron-Doped-Zinc Oxide Thin Films Using Spray Pyrolysis Technique, Journal of Engineering Sciences and Design, 12(2), 265-276.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

K.M. Adeleke, 0000-0001-5155-2479
T.G. Fadara, 0000-0002-4280-8687
A.A. Ojetoye, 0000-0001-7552-494X
A.Y. Oyerinde, 0000-0002-6897-0439
A.R. Soji-Adekunle, 0000-0002-3728-855X

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	27.05.2023
Revizyon Tarihi / Revision Date	24.11.2023
Kabul Tarihi / Accepted Date	29.12.2023
Yayın Tarihi / Published Date	30.06.2024

* Corresponding author: aojetoye@gmail.com, +234-806-084-7672

MECHANICAL PROPERTIES OF BORON-DOPED-ZINC OXIDE THIN FILMS USING SPRAY PYROLYSIS TECHNIQUE

Kehinde M. Adeleke¹, Taiwo G. Fadara², Abiodun A. Ojetoye[†], Anthony Y. Oyerinde¹ and Ayowumi R. Soji-Adekunle¹

¹Department of Mechanical engineering, Adeleke University, Ede, Nigeria

²Department of Mechanical Engineering and Engineering Technology, The Federal Polytechnic Ede, Nigeria

Highlights (At least 3 and maximum 4 sentences)

- Effect of dopant solution on ZnO thin films was studied
- Boron was proposed as a suitable dopant solution
- Addition of the dopant solution resulted in an improved grain size
- The improved grain size enhanced the mechanical characteristics of the ZnO thin films

Purpose and Scope

The purpose of carrying out a study on Boron-doped Zinc Oxide thin films is to characterise thin films and determine the effect of dopant solution on their mechanical properties. The scope is to investigate if boron will improve the mechanical properties of ZnO thin films.

Design/methodology/approach

To determine the effect of dopant solution on ZnO thin films, a metallurgical microscope was used and the mechanical properties were determined by using x-ray diffractometer. The dopant solution, and temperature was varied respectively.

Findings

The study findings reveal that dopant solution can be added to ZnO thin films in order to improve the properties, but the addition should be at an appropriate proportion. The dopant solution increases the size of thin films and improves the mechanical properties.

Social Implications

Thin films have potential applications in heterojunction solar cell devices, flexible electronics, and other optoelectronic devices. Doping of thin films improve their characteristics.

Originality

The novelty of this study is the varied application of dopant solution on ZnO thin films by using spray pyrolysis technique and increased temperature. The research will aid solar techniques for homes, business and industries. This study can assist in enhancing researchers understanding on behavior of thin films and contribute to the development of innovative materials.

[†] Corresponding author: aojetoye@gmail.com, +234-806-084-7672

1. Introduction

Due to its unique physical and chemical properties, zinc oxide (ZnO), a chemical molecule that is naturally occurring in the mineral zincite, has a broad band gap semiconducting substance with numerous applications (Choi et al., 2001, Mohammed Nahhas, 2018). With a large excitation binding energy of 60 meV, it is one of the semiconductor materials that optoelectronic applications are looking at the most. Single crystals, powders, thin films, and nanostructures are some of its structural forms. According to Asif et al. (2018) and Naqvi et al. (2018), it is a significant metal-oxide based semiconductor with good, non-toxic, and processable features appropriate for opto-electronics, sensor/transducer, data storage, batteries, personal care goods, and bio-chemical sensor applications. In addition, it can be utilised as a photo detector, solar cell, light-emitting diode, and solid-state lighting source (Kim et al., 2007, Berginski et al., 2007). Ecologically friendly and plentiful (Tumbul et al., 2018), its broad and straight band gap of around ~ 3.37 eV is one of its physical properties (Willander et al., 2009). It can be utilized in photodetectors, solar cells, and light-emitting diode displays (Kim et al., 2007). ZnO possesses significant thermal conductivity, which is advantageous in additive manufacturing applications like tyre production (Özgür et al., 2006; Paulthangam et al., 2022). Additionally, its temperature allows for the creation of photoelectronic and highly optically efficient ZnO-based devices. Furthermore, ZnO thin-film applications for short wavelength optoelectronic devices are stress-free due to their large bandgap (Znaidi, 2010). ZnO provides appropriate electrical characteristics when combined with other materials (Khan et al., 2013). Similarly, its extremely piezoelectric nature results from its non-central configuration, also referred to as its wurtzite structure. This is a crucial attribute when building electromechanically coupled sensors and transducers (Desai and Haque, 2007).

Doping thin film with an appropriate dopant can improve the mechanical properties of this somewhat soft material, which has a low Mohs hardness of approximately 4.5 (Huzni et al., 2021, Badreddine et al., 2020). Thus, ZnO can be produced using the following methods: Sol gel (Berestok et al., 2012), chemical spray pyrolysis (Animasahun, 2019), RF thermal-plasma evaporation (Khun et al., 2021), and electron beam evaporation (Dwivedi et al., 2013).

According to Hong et al. (2011), a thin film is a layer of material that ranges in thickness from nanometer to micrometre. One may say that substrates are coated with a thin layer, and typical appliances have thin films—that is, nanostructures on sturdy substrates—(Cordill et al., 2022, Xiao and Dorey, 2008). Deposition, the controlled synthesis of materials like thin films, is a crucial stage in a number of applications (Jilani et al., 2017). A common illustration is the home mirror, which often has a small layer of metal applied to the rear to provide a reflective interface (Ştefanov et al., 2020). Because ZnO is a good material for solar cells, UV light emitters, gas sensors, surface acoustic wave devices, transparent high-power electronics, etc., it has been receiving a lot of attention (Pearton and Ren, 2014). A substrate is a surface that is covered in layers of material. It is a supporting substance that gives thin films mechanical support, sufficient adhesion, and an atomic arrangement template. Nonetheless, the thin films that are formed on a substrate have a significant impact on the features of the film (Phillips, 2013). Substrates include things like glassware, quarts, semiconductor wafers, ceramics, and stainless steel. Surfaces of substrates need to be clean, polished, and free of holes, chips, and fractures that could result from machining or polishing (Yilbas, 2014). Substrates are a crucial component in thin-film device design and construction (Catania et al., 2022). In order to perform spray pyrolysis, a chemical solution must be atomized into tiny droplets and then applied to a heated substrate by means of a gas that forms thin films. Spray pyrolysis is a low-cost, straightforward process that uses basic equipment, can produce films of any composition, and doesn't require expensive or complex chemicals (Tahir et al., 2020).

According to Jana et al. (2011), boron doping entails utilising boric acid as the boron source. When cavities are discernible in a thin layer, the concentration of boron will rise. By doping ZnO with boron at different temperatures, one may ascertain the semiconducting characteristics of thin films (Dash et al., 2018). Due to its high electron mobility, luminescence, direct band gap energy, and suitable temperature, doping ZnO results in modifications to its optical, electrical, electronic, mechanical, magnetic, and structural properties, which in turn lead to enhancements in various applications (Sharma et al., 2022). Therefore, the modification of ZnO properties by addition of impurity/dopant is of interest. According to Skorenko et al. (2016) and Chiba et al. (2014), ZnO exhibits enhanced electrical and chemical stability together with a high surface-to-volume ratio. In this work, spray pyrolysis is used to dope ZnO thin films with boron. The low temperature need, cost-effectiveness, and non-toxicity of the chemical spray pyrolysis process make it a viable option.

2. Material and Method

2.1. Materials

Substrate, zinc acetate dehydrate, tri-methylborate, methanol, and acetic acid are among the materials used in this investigation. Soda lime glass substrate is the substrate that is used. One precursor solution that was utilised was zinc acetate dehydrate. Tri-methylborate is employed as a dopant solution. Acetate and methanol are combined in a 3:1 ratio to act as a solvent. To create a transparent and clear solution, acetic acid, also a dopant solution, was added.

2.2. Equipment used

Substrate cutter, beaker, grinding machine, metallurgical microscope, Charpy impact tester, Brinell hardness tester, and X-ray diffractometer are among the tools utilised.

2.3. Sample Preparation

2.3.1. Chemical Composition

The required mass, m , of the Zinc Acetate was determined by using Equation (1) derived from basic equations of number of moles.

$$m = C \times V \times M \quad (1)$$

Where C is the molar concentration mol/dm^3

V is the molar volume in dm^3

M is molar mass in g/mol

In order to obtain molar concentration of Zinc Acetate of $0.2 \text{ mol}/\text{dm}^3$ by dissolving a calculated mass of sample in 0.1 dm^3 (100 ml) of solvent, the molar mass of Zinc Acetate is $219 \text{ g}/\text{mol}$ and by substitution, the required mass becomes,

$$m = 0.2 \times 0.1 \times 219$$

$$m = 4.38 \text{ g}$$

2.3.2. Preparation of the solution

4.38 g of Zinc Acetate is weighed and dissolved in 100 ml solvent of Acetone and Methanol. The ratio for the solution is 3:1, that is, 3% of Methanol and 1% of Acetone, the respective volume becomes,

$$\frac{3}{4} \times 100 \text{ ml} = 75 \text{ ml of methanol}$$

$$\frac{1}{4} \times 100 = 25 \text{ ml of methanol}$$

After adding three drops of acetic acid to the mixture, a transparent and clear solution was produced. To obtain a 2% dopant of tri-methylborate, 2 ml of the 100 ml solution was withdrawn and replaced with 2 ml of tri-methylborate. After that, the solution was shaken in the beaker using a magnetic stirrer that was powered by electricity for nearly two hours. For the 3% and 4% solutions, this procedure was repeated.

2.3.3. Chemical Spray Pyrolysis Setup

The iron-constantan thermocouple wire, hot plate, flow metre, air atomizer nozzle, air compressor, receptacle, and temperature controller assembled in a flame chamber make up the chemical spray pyrolysis system components. The film was applied by spraying certain prepared precursors—0%, 2%, 3%, and 4% doped, respectively—onto a heated substrate that was set on a hot plate using an air brush atomizer with a 0.2 mm spray nozzle and compressed air at a pressure of roughly 10^5 Pa as the carrier gas. A temperature controller was utilised to monitor the temperature of the substrate through the use of an iron-constantan thermocouple. Three specific temperatures of $(300 \pm 5) \text{ }^\circ\text{C}$, $(350 \pm 5) \text{ }^\circ\text{C}$, and $(375 \pm 5) \text{ }^\circ\text{C}$ were used to deposit the film. To achieve optimal deposition in the spray system, it was necessary to clean the system components and place them in a manner that would guarantee experimental uniformity. To rid the tube and nozzle of any other solutions sprayed earlier, at least 3 ml of solvent were sprayed. To reduce contamination, it is usually best to use the same solvent that was used to prepare the precursor. To ensure experimental consistency and minimise the deposition area, a substrate reference point was established on the system base. This approach avoids the need for additional stress during the spraying of system components. As a result, the substrate's distance from the spraying nozzle's tip was maintained at 27 cm . For this investigation, a stepwise multi-pass spraying technique was used. A maximum volume of 2 millilitres of the precursor was applied via spraying in each of the procedural stages. This is required to have a thin film that is largely uniform, free of pinholes and cracks.

2.4. Mechanical properties

Mechanical properties examined in this study include hardness, impact and tensile properties.

2.4.1. Hardness test

After grinding, samples were completely cleaned and polished to provide a better indentation. In addition, a Brinell Hardness testing equipment was used to measure the samples' hardness, and the results were documented in accordance with ASTM E10.

2.4.2. Impact test

An impact testing machine operating in Charpy mode was used to test the impact toughness of the produced samples. As per the ASTM E23 test standard, test samples were created. Every sample's impact strength was computed and noted.

2.4.3. Tensile test

Tensile test was conducted on samples in order to reveal their tensile properties, by using X ray diffractometer according to ASTM D638.

3. Result and Discussion

3.1. Undoped ZnO film

3.1.1. Metallurgical Analysis

ZnO films were placed on a substrate made of soda lime glass, and metallurgical microscopy observations were made. Figure 1 illustrates how the grain size is affected by undoped ZnO. The ZnO films are devoid of dopant solution, and metallurgical microscopy shows that the grain size of the ZnO film does not grow when temperature is raised for A1, A2, and A3 from 300 to 350 and 375°C, respectively.

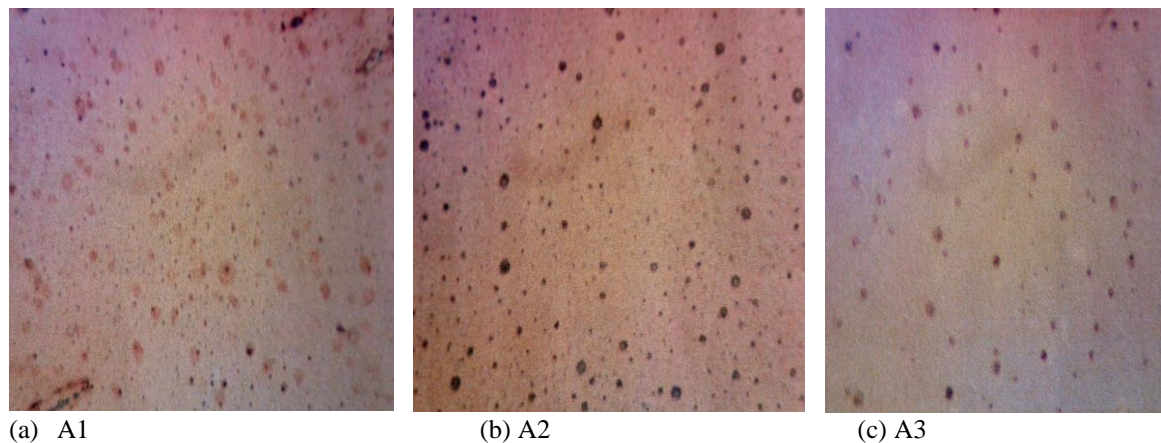


Figure 1: Metallurgical microscope image of undoped ZnO thin films

3.1.2. X-Ray Diffractometry Analysis

3.1.2.1. Mechanical Properties

The mechanical characteristics of undoped ZnO thin films produced by spraying at higher temperatures were ascertained. Table 1 displays the impact and hardness values of the undoped ZnO derived from the X-ray diffractometry investigation. The hardness and impact values are 35.17 and 19.48 at 300°C, 36.72 and 19.50 at 350°C, and 37.39 and 19.58 at 375°C. Temperature affects both the impact and hardness ratings.

Table 1. Mechanical properties of 0% solution

Sample	Temperature (°C)	Hardness Value	Impact Value
A1	300	35.17	19.48
A2	350	36.72	19.50
A3	375	37.39	19.58

3.1.2.2. Tensile Properties

The tensile properties of undoped ZnO film are determined by use of x-ray diffraction patterns. The tensile properties of the undoped ZnO under study show that the maximum tensile stress increases with temperature, as seen in Figure 2, which

plots tensile stress (MPa) versus tensile strain (mm/mm). At 300°C, the maximum tensile strain and stress are 0.00357 (mm/mm) and 0.22096 MPa, respectively. The percentage elongation is 3.57%, the percentage reduction is 0.00359%, and the Young's modulus is 6.189 MPa. At 350°C, the maximum tensile stress and strain are 0.01489 (mm/mm) and 0.43988 MPa, respectively. 29.54 MPa is the Young's modulus, 1.489% is the percentage of elongation, and 0.0003592 is the percentage of reduction. At 375°C, the maximum tensile stress and strain are 0.000637 (mm/mm) and 0.77804 MPa, respectively. The percentage reduction is 0.003593%, the percentage elongation is 0.448, and the Young's modulus is 189.71 MPa. Although the tensile strain fluctuates with temperature, the tensile stress increases.

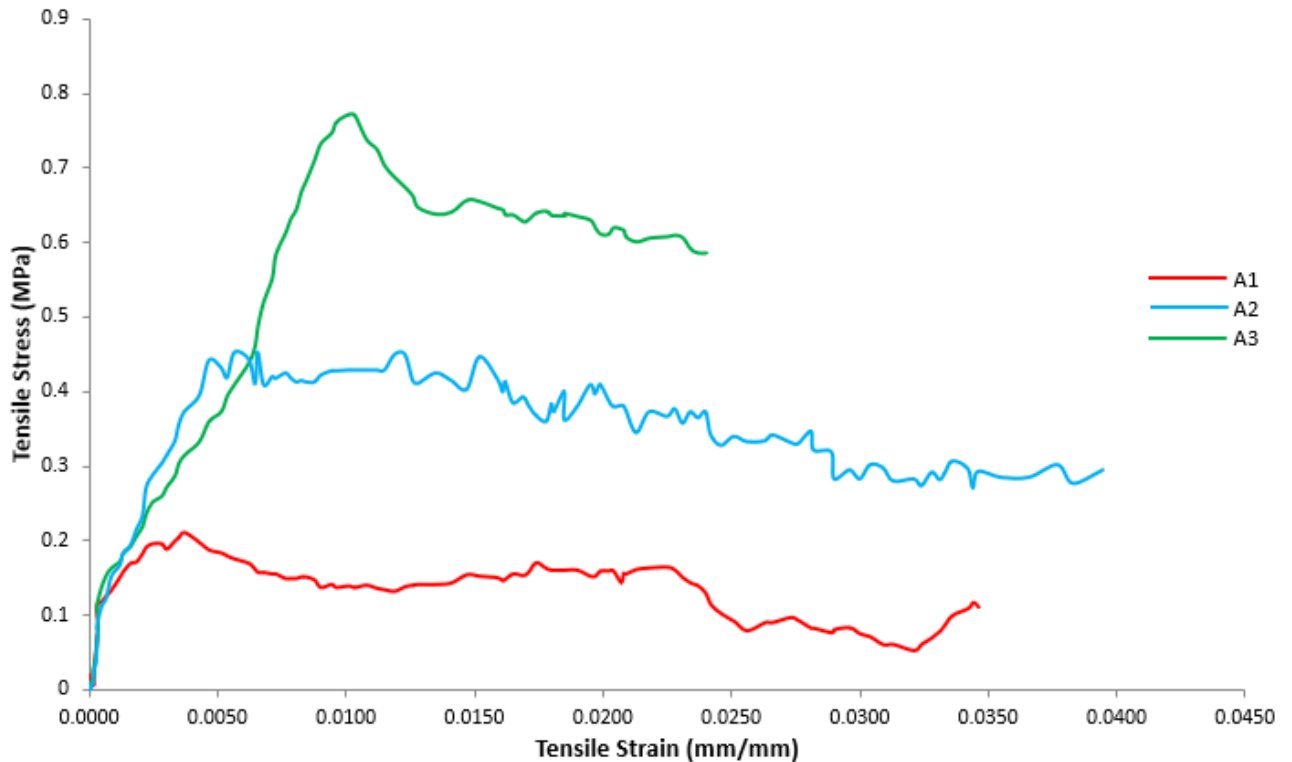
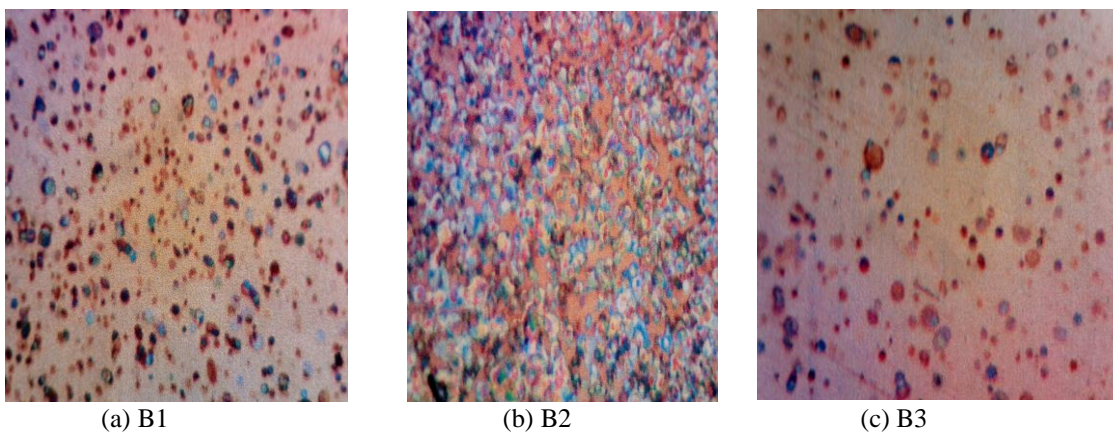


Figure 2: Graph of tensile stress against tensile strain of A1, A2, A3 at 0% dopant composition

3.2. 2% boron-doped ZnO film

3.2.1. Metallurgical Analysis

ZnO films were placed on a substrate made of soda lime glass, and metallurgical microscopy observations were made. Figure 3 illustrates how the grain size of the ZnO films rises with temperature when deposited in a 2% dopant solution at 300, 350, and 375°C. This is in agreement with literature (Saadeldin et al., 2019, Temiz et al., 2020).



(a) B1

(b) B2

(c) B3

Figure 3: Metallurgical microscope image of ZnO films for 2% dopant solution

3.2.2. X-ray Diffraction Analysis

3.2.2.1. Mechanical Properties

The mechanical characteristics of 2% boron-doped ZnO thin films produced by spraying technique under varied temperature conditions were ascertained. Table 2 displays the undoped ZnO's impact and hardness values. The values of hardness and impact are 35.17 and 19.48 J at 300°C, 36.72 and 19.50 J at 350°C, and 37.39 and 19.58 J at 375°C. In contrast to the undoped ZnO thin film, the hardness values for the 2% boron-doped ZnO thin film drop with temperature, which is inconsistent with previous research (Senol et al., 2019). However, the impact and hardness values increase with temperature.

Table 2. Mechanical properties of 2% solution

Sample	Temperature (°C)	Hardness (BHN)	Impact (J)
B1	300	23.30	19.86
B2	350	24.08	19.86
B3	375	23.62	19.93

3.2.2.2. Tensile Properties

The x-ray diffraction pattern of a 2% boron-doped ZnO thin film is used to further determine the tensile properties of doped ZnO films. Figure 4 shows a graph of tensile stress (MPa) against tensile strain (mm/mm) at 2% concentration. The mean maximum stress is 0.96006 MPa, the mean strain is 0.10912 (mm/mm), the percentage elongation is 10.918%, and the percentage reduction is 0.027833%. Young's modulus is 31.659 MPa. The observed doped ZnO's tensile characteristics show that when strain increases, the mean maximum tensile stress does as well.

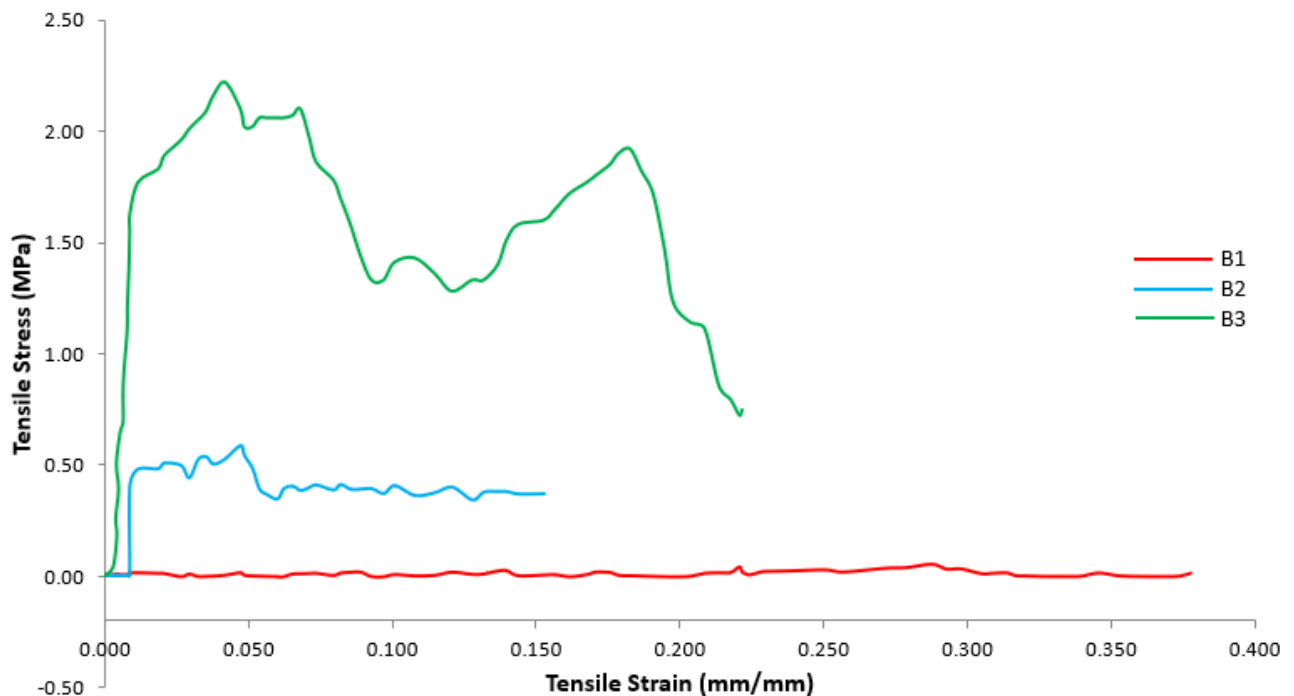


Figure 4: Graph of tensile stress against tensile strain of B1, B2, B3 at 2% dopant composition

3.3. 3% boron-doped ZnO film

3.3.1. Metallurgical Analysis

ZnO films were placed on a substrate made of soda lime glass, and metallurgical microscopy observations were made. Figure 5 illustrates how the grain size of the ZnO films rises with temperature when deposited in a 3% dopant solution at 300, 350, and 375°C. This is consistent with literature (Saadeldin et al., 2019, Temiz et al., 2020).

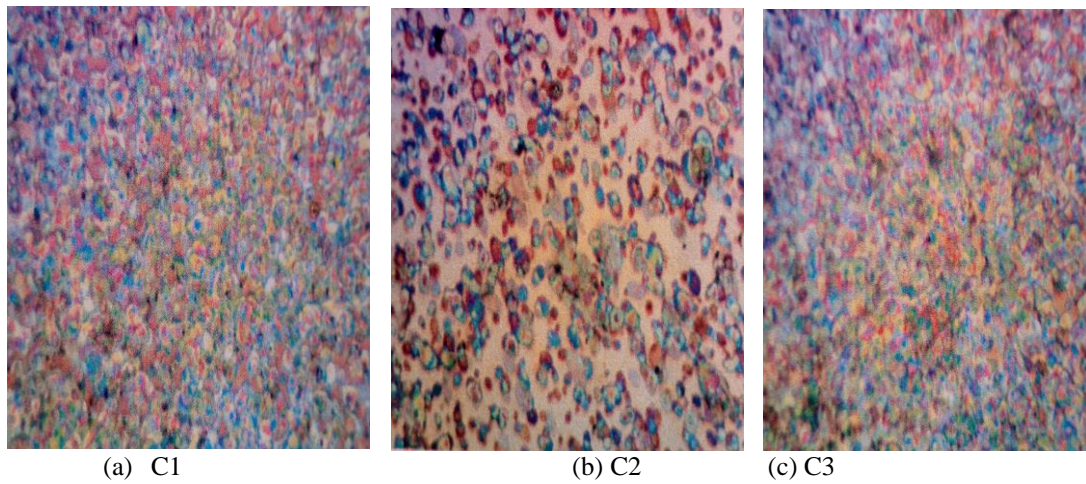


Figure 5: Metallurgical microscope image of ZnO films for 3% dopant

3.3.2. X-ray Diffraction Analysis

3.3.2.1. Mechanical Properties

Using an X-ray diffractometer, the mechanical characteristics of 3% boron-doped ZnO thin films produced by spraying technique under varied temperature conditions were ascertained. Table 3 displays the 3% doped ZnO's impact and hardness values. At 300°C, the impact value is 19.72 J, the hardness value is 15.13, and at 350°C, the hardness and impact values are 14.82 and 20.30 J. Finally, at 375°C, the values are 15.50 and 19.86 J for both hardness and impact. Both the impact and hardness levels are not constant when the dopant concentration is raised to 3%. But in contrast to previous study, the hardness values for the 3% dopant solution are lower than those of the undoped solution (Senol et al., 2019) and lower than values obtained for 2% dopant solution.

Table 3. Mechanical properties of 3% solution

Sample	Temperature (°C)	Hardness Value	Impact Value (J)
C1	300	15.13	19.72
C2	350	14.82	20.30
C3	375	15.50	19.86

3.3.2.2. Tensile Properties

The x-ray diffraction pattern of a 3% boron-doped ZnO thin film is used to further determine the tensile properties of doped ZnO films. The mean maximum tensile stress rises with an increase in dopant concentration, according to the tensile characteristics of doped ZnO measured using an X-ray diffractometer. Figure 6 shows a graph of tensile stress (MPa) against tensile strain (mm/mm) at 3% concentration. The mean maximum stress is 1.23543 MPa, the mean strain is 0.02179 (mm/mm), the Young's modulus is 67.014 MPa, the percentage elongation is 2.1796%, and the percentage decrease is 0.027833%. When the dopant additive is raised to 3%, the mean maximum tensile stress rises.

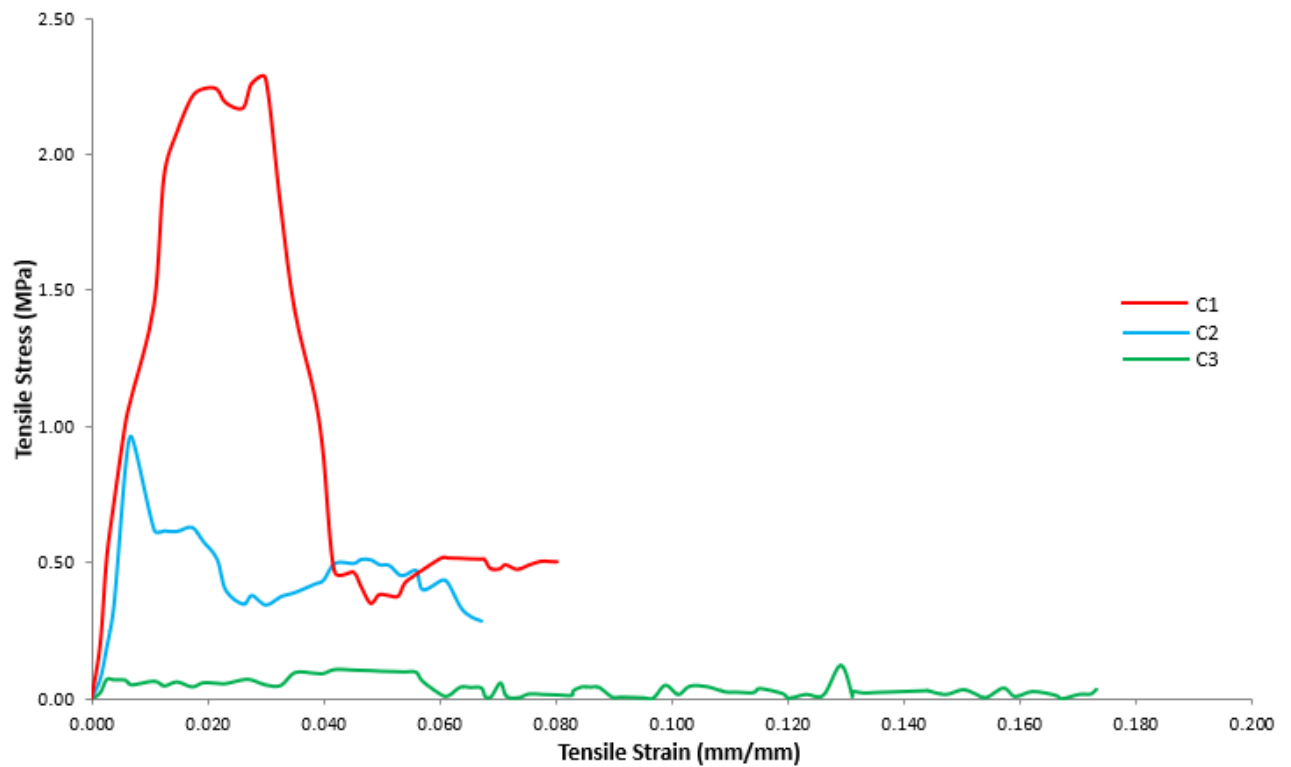


Figure 6: Graph of tensile stress against tensile strain of C1, C2, C3 at 3% dopant composition

3.4. 4% Dopant Solution

3.4.1. Metallurgical Analysis

ZnO films were placed on a substrate made of soda lime glass, and metallurgical microscopy observations were made. Figure 7 illustrates how the grain size of the ZnO films rises with temperature when deposited in a 4% dopant solution at 300, 350, and 375°C. This is consistent with previous research (Saadeldin et al., 2019, Temiz et al., 2020).

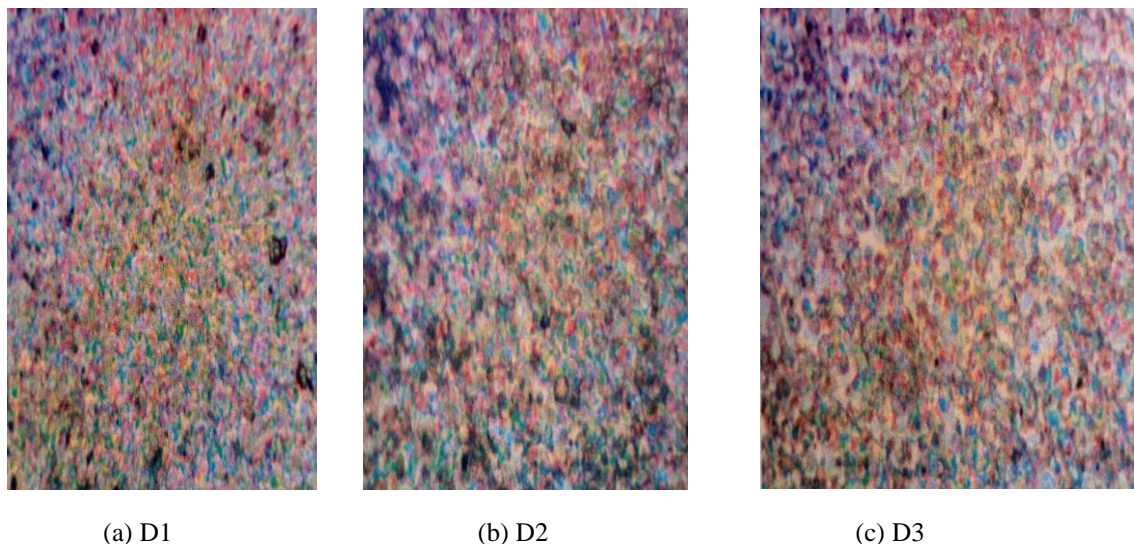


Figure 7: Metallurgical microscope image of ZnO films for 4% dopant solution

3.4.2. X-ray Diffraction Analysis

3.4.2.1. Mechanical Properties

Using an X-ray diffractometer, the mechanical characteristics of 4% boron-doped ZnO thin films produced by spraying technique under varied temperature conditions were ascertained. Table 4 displays the undoped ZnO's impact and hardness values. Hardness and impact values are as follows: at 300°C, 12.80 BHN and 19.99 J; at 350°C, 12.02 BHN and 20.50 J;

and at 375°C, 12.48 BHN and 20.40 J are the values. In comparison to data obtained from a 3% dopant solution, the hardness values are lower and the impact values are higher. In contrast to previous research, the hardness values for the 4% dopant solution are lower than those of the undoped solution (Senol et al., 2019).

Table 4. D1 – D4 4% dopant solution

Sample	Hardness Value	Impact Value (J)
D1	12.80	19.99
D2	12.02	20.50
D3	12.48	20.40

3.4.2.2. Tensile Properties

X-ray analysis was used to assess the mechanical characteristics of 4% boron-doped ZnO thin films that were created by spraying technique at varied temperatures. The x-ray diffraction pattern of a 4% boron-doped ZnO thin film is used to further determine the tensile properties of doped ZnO films. The X-ray diffractometer's analysis of the tensile characteristics of 4% doped ZnO shows that an increase in dopant concentration results in a rise in the mean maximum tensile stress. Tensile stress (MPa) vs tensile strain (mm/mm) is plotted in Figure 4 at 4% D concentration. The mean maximum stress is 144405 MPa, the mean strain is 0.01487 (mm/mm), the Young's modulus is 137.009 MPa, the percentage elongation is 1.2197%, and the percentage reduction is 0.001174%.

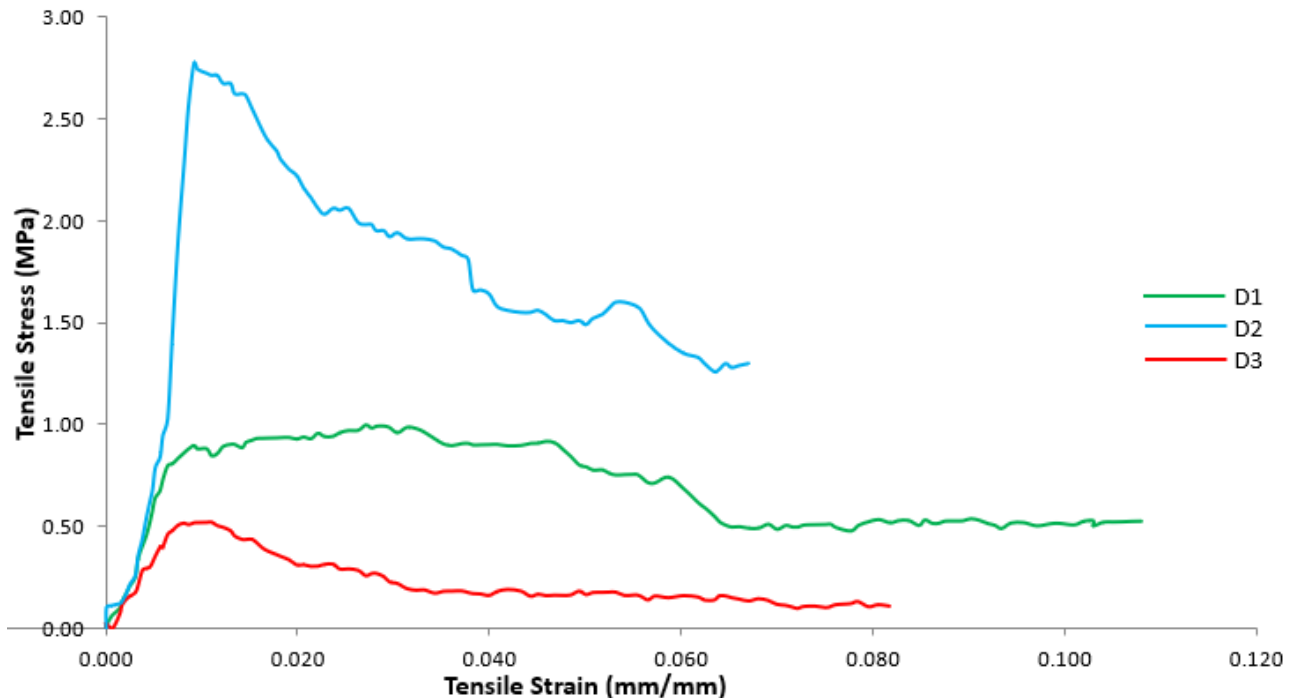


Figure 8: Graph of tensile stress against tensile strain of D1, D2, D3 at 4% dopant composition

4. Conclusion

According to the study's findings, the addition of dopant solution causes the grain size of thin films to grow. As glass experiences plastic deformation, its impact, hardness, and tensile strength all increase. Temperature influences the maximum stress of undoped ZnO and boosts its hardness and impact. With increasing dopant concentration, doped ZnO's maximum stress and impact value continued to rise while its hardness decreases. The investigation's conclusions suggested that doping ZnO thin films with boron in the right ratio will improve their mechanical properties, and that spray pyrolysis is an affordable method for producing them. Other optoelectronic devices and heterojunction solar cell technology may find applications for these films.

Acknowledgement

The authors acknowledge the facilities and support of the Testing Laboratory, Department of Mechanical Engineering

and Engineering Technology, Federal Polytechnic, Ede, Osun State, Nigeria.

Conflict of Interest

The authors hereby declare that there is no conflict of interest

References

- Animasahun, L. O. 2019. Spray Pyrolysis Deposition And Characterisation Of Dielectric SnO₂ Thin Films. *Fountain Journal Of Natural And Applied Sciences*, 8.
- Asif, M. H., Razaq, A., Bhand, S., Willander, M. & Danielsson, B. 2018. Biosensors For Intracellular And Less Invasive Measurements Based On Nanostructured Metal Oxides. *Nanotechnology And Biosensors*.
- Badreddine, K., Srour, A., Awad, R. & Abou-Aly, A. I. 2020. The Investigation Of Mechanical And Dielectric Properties Of Samarium Doped ZnO Nanoparticles. *Materials Research Express*, 7.
- Berestok, T. O., Kurbatov, D. I., Opanasiuk, N. M., Manzhos, O. P. & Danilchenko, S. 2012. *Structural Properties Of ZnO Thin Films Obtained By Chemical Bath Deposition Technique*. Sumy State University.
- Berginski, M., Hüpkens, J., Schulte, M., Schöpe, G., Stiebig, H., Rech, B. & Wuttig, M. 2007. The Effect Of Front ZnO:Al Surface Texture And Optical Transparency On Efficient Light Trapping In Silicon Thin-Film Solar Cells. *Journal Of Applied Physics*, 101.
- Catania, F., De Souza Oliveira, H., Lugoda, P., Cantarella, G. & Münzenrieder, N. 2022. Thin-Film Electronics On Active Substrates: Review Of Materials, Technologies And Applications. *Journal Of Physics D: Applied Physics*, 55.
- Chiba, H., Mori, T., Okuda, S. & Washio, K. 2014. Thermal Stability Of Conductive And Transparent V-Doped ZnO Thin Films. *Thin Solid Films*, 557, 203-206.
- Choi, J. H., Tabata, H. & Kawai, T. 2001. Initial Preferred Growth In Zinc Oxide Thin Films On Si And Amorphous Substrates By A Pulsed Laser Deposition. *Journal Of Crystal Growth*, 226, 493-500.
- Cordill, M. J., Kreiml, P. & Mitterer, C. 2022. Materials Engineering For Flexible Metallic Thin Film Applications. *Materials*, 15.
- Dash, U. R., Khan, M. K. R., Rahman, M. M. & Kamruzzaman, M. 2018. Effect Of Low To Heavily Boron Doped Pyrolyzed Zinc Oxide (ZnO:B) Thin Films. *Journal Of Physics: Conference Series*, 1086.
- Desai, A. V. & Haque, M. A. 2007. Mechanical Properties Of ZnO Nanowires. *Sensors And Actuators A: Physical*, 134, 169-176.
- Dwivedi, V. K., Srivastava, P. & Prakash, G. V. 2013. Photoconductivity And Surface Chemical Analysis Of ZnO Thin Films Deposited By Solution-Processing Techniques For Nano And Microstructure Fabrication. *Journal Of Semiconductors*, 34.
- Hong, X., Gan, Y. & Wang, Y. 2011. Facile Measurement Of Polymer Film Thickness Ranging From Nanometer To Micrometer Scale Using Atomic Force Microscopy. *Surface And Interface Analysis*, 43, 1299-1303.
- Huzni, S., Ali, N., Rizal, S. & Adlie, T. A. 2021. The Effect Of Additional Zinc Oxide (ZnO) In Polymeric Foam Composites On Impact Strength. *Proceedings Of The 2nd International Conference On Science, Technology, And Modern Society (Icstms 2020)*.
- Jana, S., Vuk, A. S., Mallick, A., Orel, B. & Biswas, P. K. 2011. Effect Of Boron Doping On Optical Properties Of Sol-Gel Based Nanostructured Zinc Oxide Films On Glass. *Materials Research Bulletin*, 46, 2392-2397.
- Jilani, A., Abdel-Wahab, M. S. & Hammad, A. H. 2017. Advance Deposition Techniques For Thin Film And Coating. *Modern Technologies For Creating The Thin-Film Systems And Coatings*.
- Khan, I., Khan, S., Nongjai, R., Ahmed, H. & Khan, W. 2013. Structural And Optical Properties Of Gel-Combustion Synthesized Zr Doped ZnO Nanoparticles. *Optical Materials*, 35, 1189-1193.
- Khun, J., Machková, A., Kašparová, P., Klenivskyi, M., Vaňková, E., Galář, P., Julák, J. & Scholtz, V. 2021. Non-Thermal Plasma Sources Based On Cometary And Point-To-Ring Discharges. *Molecules*, 27.
- Kim, I.-D., Hong, J.-M., Lee, B. H., Kim, D. Y., Jeon, E.-K., Choi, D.-K. & Yang, D.-J. 2007. Dye-Sensitized Solar Cells Using Network Structure Of Electrospun ZnO Nanofiber Mats. *Applied Physics Letters*, 91.
- Mohammed Nahhas, A. 2018. Review Of GaN/ZnO Hybrid Structures Based Materials And Devices. *American Journal Of Nano Research And Applications*, 6.
- Naqvi, S., Kumar, V. & Gopinath, P. 2018. Nanomaterial Toxicity: A Challenge To End Users. *Applications Of Nanomaterials*.
- Özgür, Ü., Gu, X., Chevtchenko, S., Spradlin, J., Cho, S. J., Morkoç, H., Pollak, F. H., Everitt, H. O., Nemeth, B. & Nause, J. E. 2006. Thermal Conductivity Of Bulk ZnO After Different Thermal Treatments. *Journal Of Electronic Materials*, 35, 550-555.
- Paulthangam, K. M., Som, A., Ahuja, T., Srikrishnarka, P., Nair, A. S. & Pradeep, T. 2022. Role Of Zinc Oxide In The Compounding Formulation On The Growth Of Nonstoichiometric Copper Sulfide Nanostructures At The Brass-Rubber Interface. *Acs Omega*, 7, 9573-9581.
- Pearson, S. J. & Ren, F. 2014. Advances In ZnO-Based Materials For Light Emitting Diodes. *Current Opinion In Chemical Engineering*, 3, 51-55.
- Phillips, J. M. 2013. Substrate Selection For Thin-Film Growth. *Mrs Bulletin*, 20, 35-39.
- Saadeldin, M. M., Desouky, O. A., Ibrahim, M., Khalil, G. E. & Helali, M. Y. 2019. Investigation Of Structural And Electrical Properties Of ZnO Varistor Samples Doped With Different Additives. *Nriag Journal Of Astronomy And Geophysics*, 7, 201-207.
- Senol, S. D., Terzioglu, R. & Ozturk, O. 2019. The Influence Of Boron Doping On The Structural And Mechanical Characterization Of ZnO. *Journal Of Alloys And Compounds*, 797, 717-726.
- Sharma, D. K., Shukla, S., Sharma, K. K. & Kumar, V. 2022. A Review On ZnO: Fundamental Properties And Applications. *Materials Today: Proceedings*, 49, 3028-3035.
- Skorenko, K., Bernier, R. T., Liu, J., Galusha, B., Goroleski, F., Hughes, B. P., Bernier, W. E. & Jones, W. E. 2016. Thermal Stability Of ZnO Nanoparticle Bound Organic Chromophores. *Dyes And Pigments*, 131, 69-75.
- Ștefanov, T., Maraka, H. V. R., Meagher, P., Rice, J., Sillekens, W. & Browne, D. J. 2020. Thin Film Metallic Glass Broad-Spectrum Mirror Coatings For Space Telescope Applications. *Journal Of Non-Crystalline Solids: X*, 7.
- Tahir, M. B., Rafique, M., Rafique, M. S., Nawaz, T., Rizwan, M. & Tanveer, M. 2020. Photocatalytic Nanomaterials For Degradation Of Organic Pollutants And Heavy Metals. *Nanotechnology And Photocatalysis For Environmental Applications*.

- Temiz, M., Yildirim, R., Bedir, M. & Öztaş, M. 2020. Effect Of Boric Acid Concentrations On The Characterization Of The In₂O₃ Thin Films Growth By Spraying Pyrolysis Method. *Digest Journal Of Nanomaterials & Biostructures (Djnb)*, 15.
- Tumbul, A., Aslan, F., Demirozu, S., Goktas, A., Kilic, A., Durgun, M. & Zarbali, M. Z. 2018. Solution Processed Boron Doped ZnO Thin Films: Influence Of Different Boron Complexes. *Materials Research Express*, 6.
- Willander, M., Nur, O., Zhao, Q. X., Yang, L. L., Lorenz, M., Cao, B. Q., Zúñiga Pérez, J., Czekalla, C., Zimmermann, G., Grundmann, M., Bakin, A., Behrends, A., Al-Suleiman, M., El-Shaer, A., Che Mofor, A., Postels, B., Waag, A., Boukos, N., Travlos, A., Kwack, H. S., Guinard, J. & Le Si Dang, D. 2009. Zinc Oxide Nanorod Based Photonic Devices: Recent Progress In Growth, Light Emitting Diodes And Lasers. *Nanotechnology*, 20.
- Xiao, P. & Dorey, R. 2008. Nanostructured Thin Films And Coatings. *Journal Of Nanomaterials*, 2008, 1-2.
- Yilbas, B. S. 2014. Introduction To Nano- And Microscale Processing – Modeling. *Comprehensive Materials Processing*.
- Znaidi, L. 2010. Sol–Gel-Deposited ZnO Thin Films: A Review. *Materials Science And Engineering: B*, 174, 18-30.



YAPAY ZEKA KULLANILARAK TREN TEKERLEKLERİNİN YORULMA ÖZELLİKLERİNİN VEKİL MODELLENMESİ

Mehran MAHOUTİ^{1*}, Mehmed Sinan KÖMEK², Suat YILMAZ¹

¹ İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Metalurji Ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

² Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik Elektronik Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Özet
<i>Yapay Zeka</i> <i>Optimizasyon</i> <i>Vekil modelleme</i> <i>Sonlu elemanlar yöntemi</i>	Sonlu Elemanlar Yöntemi (Finite Element Method, SEY), tren tekerlekleri gibi karmaşık yapıların analiz edilmesi ve tasarlanması için mühendislikte hayati bir araçtır. Tren tekerlekleri, işletme ömürleri boyunca karşılaştıkları aşırı ve değişken yükler nedeniyle yorulmaya maruz kalmaktadır ve bu durum, ömür süresi ve güvenlik üzerindeki etkileri nedeniyle tren tekerleği tasarımında kritik bir endişe kaynağıdır. Ancak, özellikle tren tekerlekleri gibi karmaşık geometrilere sahip büyük ölçekli yapıların modellenmesinde SEY'in geniş hesaplama ihtiyaçları önemli zorluklar sunmaktadır. Doğru yorgunluk analizi için gereken detaylı modelleme, genellikle büyük hesaplama yükleri ve uzun zaman dilimleri ile sonuçlanmakta ve bu durum, hızlı karar verilmesi gereken durumlarda daha az uygulanabilir bir seçenek haline gelmektedir. Bu sınırlamaları ele almak için, Yapay Zeka (Artificial Intelligence, YZ), yenilikçi bir çözüm olarak ortaya çıkmıştır. SEY simülasyonlarından elde edilen veri setleri üzerinde eğitilen YZ modelleri, geleneksel hesaplama maliyeti ve zamanının bir kısmında yorgunluk ömrünü tahmin ederek etkin bir alternatif sunmaktadır. Bu vekil modeller, mühendislik tasarım optimizasyonu süreçleri için gerekli olan hızlı ve doğru tahmini sağlamaktadır. Bu çalışmada YZ tabanlı vekil modelleme yaklaşımı ile tren tekerlekleri optimizasyon problemini geleneksel SEY yaklaşımına kıyas ile nerdeyse %90 oranında hızlandırma başarısına erişilmiştir.

SURROGATE MODELLING OF TRAIN WHEELS FATIGUE CHARACTERISTICS USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Keywords	Abstract
<i>Artificial intelligence,</i> <i>Optimization,</i> <i>Surrogate modeling,</i> <i>Finite element method.</i>	The finite element method (FEM) is a vital tool in engineering for analyzing and designing complex structures such as train wheels. Train wheels are subject to fatigue due to the extreme and variable loads they encounter throughout their operating life, and this is a critical concern in train wheel design due to its effects on lifespan and safety. However, the large computational needs of FEM present significant challenges, especially in modeling large-scale structures with complex geometries such as train wheels. The detailed modeling required for accurate fatigue analysis often results in large computational loads and long time periods, making it a less feasible option in situations where rapid decisions must be made. To address these limitations, Artificial Intelligence (AI) has emerged as an innovative solution. AI models trained on data sets obtained from FEM simulations offer an effective alternative by predicting fatigue life at a fraction of the traditional computational cost and time. These surrogate models provide the fast and accurate prediction required for engineering design optimization processes. In this study, the AI-based surrogate modeling approach succeeded in accelerating the train wheels optimization problem by almost 90% compared to the traditional FEM approach.

Alıntı / Cite

Mahouti, M., Komek, M. S., Yılmaz, S., (2024). Yapay Zeka Kullanılarak Tren Tekerleklerinin Yorulma Özelliklerinin Vekil Modellenmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 12(2), 277-284.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

Mehran Mahouti, 0000-0002-6793-6458
Mehmet Sinan Komek, 0009-0000-9391-8053
Suat Yılmaz, 0000-0002-6092-9319

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	12.02.2024
Revizyon Tarihi / Revision Date	07.03.2024
Kabul Tarihi / Accepted Date	17.03.2024
Yayın Tarihi / Published Date	30.06.2024

* İlgili yazar / Corresponding author: mahouti@gmail.com, +90-539-610-6523

SURROGATE MODELLING OF TRAIN WHEELS FATIGUE CHARACTERISTICS USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Mehran Mahouti^{1†}, Mehmed Sinan Kömek², Suat Yılmaz¹

Istanbul University-Cerrahpaşa, Faculty of Engineering, Department of Metallurgy and Material Engineering, Istanbul, Turkey

Yıldız Technical University, Faculty of Electrical and Electronics, Department of Electronics and Communication Engineering, Istanbul, Turkey

Highlights

- Addressing computational challenges in FEM for train wheel design,
- Enhancing efficiency in structural design processes
- Bridging the gap between simulation detail and computational efficiency

Purpose and Scope

The paper aims to tackle the significant computational demands and challenges associated with using the Finite Element Method (FEM) for the structural design of train wheels. These challenges include high computational costs, extended time frames for simulation, and the need for detailed modelling to accurately capture fatigue characteristics under diverse loading conditions. Also, herein it is aimed to operationalize AI in enhancing the computational efficiency of structural design processes, particularly in the context of train wheel design. By developing a comprehensive 3D model of a train wheel using ANSYS and generating a robust dataset for training AI models, the research seeks to expedite the design optimization process.

Design/methodology/approach

This study initiates with the development of a comprehensive 3D model of a train wheel using ANSYS. The primary objective is to utilize this detailed 3D model as the basis for generating a robust dataset, encompassing both training and test samples, which will be instrumental in developing and validating a data-driven surrogate model for capturing the intricate behaviours of train wheel fatigue characteristics under various operational conditions. The ultimate aim of this approach is to streamline and expedite the design optimization process for train wheels. By employing the AI based surrogate model, we anticipate a significant reduction in the computational time and resources typically required in FEM analyses. This approach not only promises to be considerably faster than the direct usage of FEM but also opens avenues for exploring a wider range of design variables and conditions, potentially leading to more innovative and optimized train wheel designs.

Findings

The work found that the application of AI, in the form of surrogate models, has the potential to revolutionize the way fatigue analysis and design optimization of train wheels are conducted. This approach bridges the gap between the need for detailed simulation in FEM and the demand for computational efficiency, marking a significant advancement in the field of structural engineering and design.

Research limitations/implications

Due to the limited computer hardware capabilities, the 3D model is designed in static form for a wheel at instantaneous time point.

Originality

The proposed novelty of the work lies in its approach to combining AI with traditional FEM techniques, leading to significant advancements in computational efficiency, design process acceleration, and innovation in train wheel design. This research is valuable to professionals in structural engineering, particularly those focused on railway systems, offering novel methodologies and insights that could substantially improve design and analysis processes in the field.

† Corresponding author: mahouti@gmail.com, +90-539-610-6523

1. Giriş (Introduction)

Sonlu Elemanlar Yöntemi (SEY), çeşitli yükleme koşulları altında karmaşık yapısal davranışları ve malzeme özelliklerini modelleme yeteneği sayesinde tren tekerleklerinin yorulma analizlerinde vazgeçilmez bir araç olarak ortaya çıkmaktadır [1-2]. SEY, tekerlek malzemesi içindeki gerilim ve deformasyon dağılımını detaylı ve hassas bir şekilde simüle etmeyi sağlar ki bu da yorulma başarısızlığına eğilimli kritik bölgeleri tanımlamak için hayati öneme sahiptir [3]. Karmaşık geometrileri ve çeşitli malzeme özelliklerini, anizotropi ve doğrusal olmayan özellikler dahil, ele alabilme yeteneği, SEY'i tren tekerleği tasarımında gereken çok yönlü analiz için benzersiz bir şekilde uygun kılar. SEY'nin tren tekerleklerinin yorulma analizlerinde kullanılmasının gerekliliği, gerçek dünya koşullarını yüksek sadakatle simüle edebilme yeteneğinden kaynaklanır. Tren tekerlekleri, yorulma ömrünü önemli ölçüde etkileyebilecek çeşitli yükler ve çevresel koşullarla karşılaşır [4-5]. SEY bu koşulları, tekerlek-ray temasını, termal etkileri ve imalat süreçlerinden kaynaklanan artık gerilmeleri dahil olmak üzere doğru bir şekilde modelleyebilir. Bu detaylı modelleme, yorulma çatlaklarının başlangıcını ve yayılımını tahmin etmek için temel olup, sonuç olarak daha güvenilir ve güvenli tekerlek tasarımlarına yol açar [6]. Ayrıca, SEY'nin diğer simülasyon araçlarıyla entegrasyonundaki esnekliği ve malzeme bilimi ile yorulma teorisi alanlarındaki ilerlemeleri dikkate alma yeteneği, tren tekerleklerinin yapısal tasarımında kullanılması gereken bir araç olarak konumunu daha da sağlamlaştırır [7-8]. Mühendislere çeşitli tasarım senaryolarını ve malzeme seçeneklerini simüle etme ve analiz etme imkanı tanıyarak, SEY demiryolu sektöründe yenilik ve verimliliği teşvik eden kritik bir role sahiptir [9-10].

SEY, karmaşık mühendislik sistemlerindeki yapısal tasarımda uzun süredir temel taş olarak kabul edilmektedir [11-13], örneğin tren tekerlekleri gibi [1]. SEY, çeşitli yükleme koşulları altında gerilim [14], deformasyon [15] ve yorulma özelliklerini modellemede eşsiz detay ve hassasiyet sunar [16]. Ancak, sayısız avantajlarına rağmen, SEY, özellikle karmaşık ve büyük ölçekli yapılar uygulandığında önemli hesaplama zorluklarıyla birlikte gelir [17]. SEY'nin yapısal tasarımda kullanılmasının temel zorluklarından biri yüksek hesaplama maliyetidir. Tren tekerlekleri karmaşık geometrilere sahiptir ve geniş bir dinamik yük ve çevresel koşullar yelpazesi altında çalışır [18]. Bu faktörleri SEY modellerinde doğru bir şekilde yakalamak, ince bir ağ ve yüksek detay seviyesi gerektirir, bu da büyük sayıda eleman ve düğümle sonuçlanır [19-20]. Bu tür detaylı modellerin hesaplanması önemli işlem gücü ve bellek talep eder, sıklıkla yüksek performanslı bilgisayar kaynaklarının kullanımını zorunlu kılar. Bu, analizle ilişkili doğrudan maliyetleri artırmakla kalmaz, aynı zamanda simülasyonların tamamlanması için gereken süreyi uzatır ve potansiyel olarak tüm tasarımı ve optimizasyon sürecini yavaşlatabilir. Bir başka zorluk, SEY simülasyonlarının ölçeklenebilirliğidir, bu da model karmaşıklığı ve boyutu ile ilgilidir [21]. Modelin sadakati, fiziksel olayların daha doğru ve detaylı temsillerini yakalamak için arttıkça, hesaplama yükü üssel olarak artar. Bu ölçekleme sorunu, uzun süreler boyunca periyodik yüklemeyi simüle etmenin gerektiği yorulma analizinde daha da belirginleşir, bu da hesaplama taleplerini daha da artırır. Tasarım süreçlerinin tekrarlayıcı doğası, azami kullanılabilir yük miktarını, modelin maliyetini ve ömrünü bulabilmek ve uygulanabilirliğini değerlendirmek için birden fazla simülasyon gerektirir, bu da hesaplama yükünü daha da artırır [22]. Ayrıca, SEY modellerinin karmaşıklığı, gereken uzmanlık ve hata potansiyeli açısından zorluklar oluşturur. SEY kullanımında modelin yapımı, SEY için düzenlenmesi, yazılımda modelin hazırlanması için yöntemlerin özelleştirilmesi, oluşturulan örgünün (mesh) kalitesinin belirlenmesi, yüklerin, destek noktalarının ve eklemlerin doğru şekilde belirlenmesi ve kurulum eğer hareketli ise hareketin doğru tanımlanması için konuya dair mühendislik bilgisinin yeterli olması, yazılıma yeterli hakimiyetinin olması ve sonucun doğruluğuna yakınlığını muhakeme edebilmesi gerekir. Model kurulumunda yapılan yanlış yorumlamalar veya hatalar, sadece hesaplama yoğunluğu açısından değil, aynı zamanda insan hatasına karşı hassasiyet açısından da yanlış sonuçlara yol açabilir [17].

Yapısal tasarımlarda, örneğin tren tekerleklerinde, SEY ile ilişkili hesaplama zorluklarını ele almakta, Yapay Zeka (YZ) uygulaması, dönüştürücü bir çözüm olarak ortaya çıkmıştır. YZ tabanlı vekil modeller, bu yenilikte öncü konumda yer almakta, karmaşık simülasyon genişleyen problemlerin doğruluğunu ve güvenilirliğini korurken, önemli ölçüde daha düşük hesaplama maliyetleri sunmaktadır [23-24]. Yapısal tasarımda vekil modelleme, SEY'nin karmaşık ve yoğun hesaplamalı simülasyonlarını yaklaşık olarak modellemek için YZ algoritmalarının kullanılmasını içerir [25]. Bu YZ modelleri, detaylı SEY simülasyonlarından türetilen bir veri seti üzerinde eğitildikten sonra, stres dağılımları, deformasyon desenleri ve yorulma ömrü gibi çeşitli sonuçları olağanüstü hız ve verimlilikle tahmin edebilir. Temel avantaj, vekil modelin her seferinde tam simülasyonu çalıştırmaya gerek kalmadan SEY çıktılarının hızlı tahminlerini sağlama yeteneğinde yatmaktadır, böylece hesaplama süresi ve kaynak kullanımını önemli ölçüde azaltmaktadır [26-27].

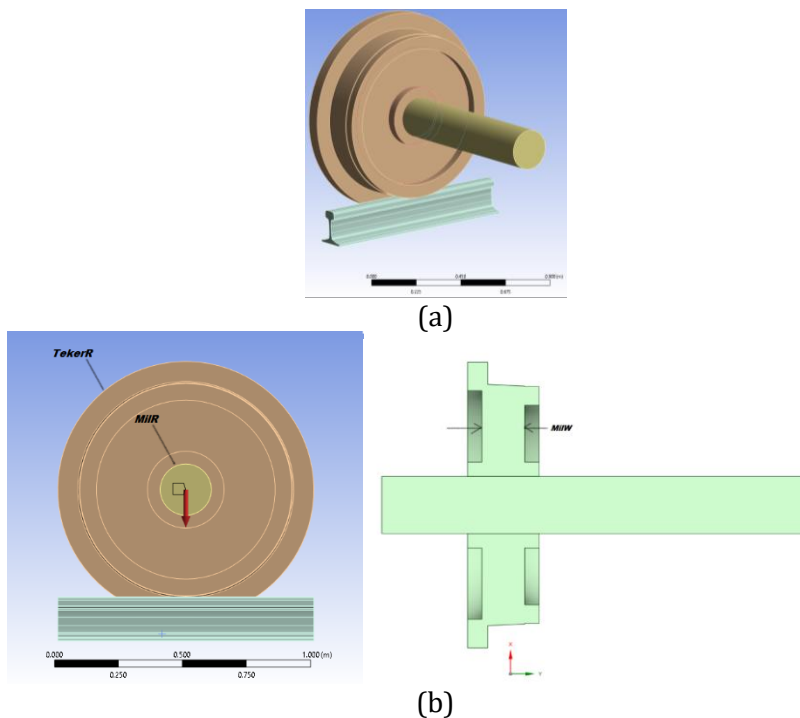
YZ tabanlı vekil modelleme ile elde edilen hesaplama iyileştirmeleri önemlidir. İlk olarak, vekil modeller, tasarım ve analiz sürecini önemli ölçüde hızlandırır. Tren tekerlekleri bağlamında, bu hızlanma, birden fazla tasarım iterasyonunun ve yorulma analizlerinin geleneksel olarak gerekli olan sürenin bir kısmında gerçekleştirilebilmesini sağlar, bu da daha hızlı optimizasyon ve karar verme süreçlerini mümkün kılar. Bu hızlı analiz yeteneği, özellikle tasarımın erken aşamalarında, en umut verici yönleri belirlemek için birçok tasarım alternatifinin değerlendirilmesi gerektiğinde oldukça faydalıdır [28-30]. İkinci olarak, vekil modellemenin içsel

olarak düşük hesaplama yükü, doğrudan SEY simülasyonları ile sıklıkla yüksek maliyetlerinden dolayı yasaklayıcı olan kapsamlı parametrik çalışmaları ve hassasiyet analizlerini yapılabilir hale getirir [31-32]. Bu tür çalışmalar, tren tekerleklerinin değişken işletim koşulları altında davranışlarını anlamak ve yorulma ömrünü etkileyen kritik tasarım parametrelerini belirlemek için gereklidir [33-34]. Dahası, vekil modeller, analize daha karmaşık fenomenleri ve daha ince detayları, karşılık gelen bir hesaplama maliyeti artışı olmadan entegre etme yeteneğine sahiptir. Bu entegrasyon, model karmaşıklığı arttığında doğrudan SEY simülasyonları ile olduğu gibi, vekil model çalıştırmanın hesaplama karmaşıklığının aynı şekilde artmaması sayesinde mümkündür.

Yapısal tasarım süreçlerinin verimliliğini artırmada YZ potansiyelini operasyonel hale getirmek için bu çalışma, mühendislik simülasyonlarında yaygın olarak tanınan bir araç olan ANSYS [35] kullanılarak kapsamlı bir 3D tren tekerleği modeli geliştirmekle başlar. Temel amaç, bu detaylı 3D modeli, hem eğitim hem de test örneklerini kapsayan güçlü bir veri seti oluşturmak için bir temel olarak kullanmak ve bu veri seti, YZ tekniklerine dayanan veri odaklı bir vekil model geliştirmek ve doğrulamak için önemli olacaktır. Bu vekil model, SEY tarafından üretilen verilerde yer alan karmaşık desenlerden ve ilişkilerden öğrenmek üzere tasarlanmıştır ve çeşitli işletim koşulları altında tren tekerleğinin yorulma karakteristiklerinin karmaşık davranışlarını yakalamaktadır. Modeli, 3D ANSYS simülasyonlarından türetilen çeşitli senaryolar üzerinde eğiterek, her tasarım iterasyonunda kapsamlı SEY hesaplamalarına gerek kalmadan hızla yorulma ömrünü ve stres dağılımlarını tahmin edebilme yeteneği geliştirecektir. Bu yaklaşımın nihai amacı, tren tekerlekleri için tasarım optimizasyon sürecini akıcılaştırmak ve hızlandırmaktır. YZ'ye dayalı vekil modeli kullanarak, tipik olarak SEY analizlerinde gerekli olan hesaplama süresi ve kaynaklarında önemli bir azalma bekliyoruz. Modelin, yorulma özelliklerinin hızlı ancak son derece doğru tahminlerini sağlayarak daha dinamik ve yinelemeli bir tasarım sürecini mümkün kılması beklenmektedir. Bu yaklaşım, sadece doğrudan SEY kullanımından önemli ölçüde daha hızlı olmakla kalmayacak, aynı zamanda daha yenilikçi ve optimize edilmiş tren tekerleği tasarımlarına yol açabilecek geniş bir tasarım değişkenleri ve koşulları yelpizesi keşfetme fırsatları da sunacaktır. Özünde, bu araştırma, geleneksel SEY yaklaşımlarının hesaplama sınırlarını aşmada YZ'nin gücünü kullanmayı amaçlamaktadır. Detaylı simülasyon ile hesaplama verimliliği arasındaki boşluğu kapatmak suretiyle önerilen vekil model, tren tekerleklerinin yorulma analizi ve tasarım optimizasyonu şeklini devrim niteliğinde değiştirmeyi vaat etmekte ve yapısal mühendislik ve tasarım alanında önemli bir ilerleme işaret etmektedir.

2. Problem Tanımı

Çalışmanın bu bölümünde, Şekil 1'de sunulmuş olan örnek bir tren tekerinin 3B ve şematik görselidir. Tekere 2 kuvvet etki etmektedir. Milden tekere yatak kuvveti ve tekerle ray arasında sürtünme kuvvetidir. Teker ile rayın temas ettiği yüzey tekerin dış yüzüne dik değil yaklaşık 87.5 derece tayin edilmiştir. Teker tasarımında kullanılan parametreler: (i) Teker yarıçapı $TekerR$, (ii) Tekerin kalınlık $MilW$, (iii) Mil yarıçapı $MilR$, (iv) Yatak kuvveti F . Bu parametrelerin değişimine göre alınan sonuç ise En düşük Güvenlik Katsayısı (GK).



Şekil 1. Ele alınan tren tekerinin (a) 3B ANSYS modeli, (b) şematik görseli. ((a) 3D ANSYS model, (b) schematic image of the considered train wheel.)

Şekilde verilen değişkenlerin (geometrik, uygulanan güç vs.) Tablo 1’de verilen aralıklar içerisindeki limitler içerisinde YZ modelleri için gerekli olan eğitim verileri oluşturulacaktır analizleri yapılmıştır. Bu eğitim verilerinin her birinin yaklaşık aldığı süre ise tasarımın mesh ve kullanılan bilgisayar sistemine ciddi anlamda bağlıdır. Bu çalışmada kullanılan bilgisayar altyapısına ve tasarımın mesh ayarına göre simülasyon maliyeti Tablo 2 de sunulmuştur.

Tablo 1. Tasarımda ele alınacak olan değişkenler ve aralıkları (Variables and their ranges to be considered in design)

Parametre	Alt değer	Üst Değer
<i>TekerR</i> [cm]	400	500
<i>MilR</i> [cm]	70	100
<i>MilW</i> [cm]	100	150
<i>F</i> [KN]	400	500

Tablo 2. Ele alınan problemin simülasyon süre maliyet tablosu (Simulation time cost table of the considered problem)

Bilgisayar Sistemi	Model Ayarı	Simülasyon süresi [dakika]
AMD Ryzen 7 3700X 8-Core Processor 3.59 GHz, 48 GB Ram Windows 10 64 bit	Mesh element sayısı 60 [mm], varsa başka bilgiler	46.6
	Mesh element boyutu 50 [mm], varsa başka bilgiler	55.1
	Mesh element boyutu 35 [mm], varsa başka bilgiler	91.5
	Mesh element boyutu 15 [mm], varsa başka bilgiler	736.6

Tablo 2’den de görüleceği üzere, ele alınan problemde yüksek sayıdaki değişkenlerinden dolayı ve her bir değişkenin incelenen karakteristiğe olan lineer olmayan etkisinden kaynaklı, ele alınacak bir tasarım optimizasyon problemi için en basit yöntemlerde bile en az 1500-2000 fonksiyon değerlendirmesi gerektiren (örneğin, 50 nüfus büyüklüğü ve 40 iterasyonlu Parçacık Sürü Optimizasyonu gibi) bir sürece ihtiyaç uyulmaktadır. Bu tipte olan bir problemin genel optimizasyonunun her bir çalışma durumu için doğrudan SEY’e dayalı bir optimizasyon yaklaşımı kullanılarak neredeyse 90000 dakika (2000×45 (toplam fonksiyon değerlendirme× ortalama simülasyon süresi)) sürdüğü anlamına gelir. Burada üç farklı tasarım durumuna ihtiyacınız olduğunu varsayalım, böylece 3 farklı durum için toplam süre yaklaşık 270000 dakika (3×90000) olur. Bu çalışma kapsamında optimizasyon sürecinin olabildiğince kısaltma ve hesaplama verimliliğini artırmak için direk SEY tabanlı bir optimizasyon yerine YZ tabanlı bir vekil model geliştirilmesi ve optimizasyonun bu vekil model aracılığı ile yapılması hedeflenmiştir.

Bu amaç için öncelik ile vekil modele geliştirecek eğitim ve test verilerinin oluşturulması gerekmektedir. Ele alınan problem için, 4 tasarım değişkeniyle veriye dayalı bir vekil model oluşturulması, eğitim ve test örneklerinin dikkatlice düşünülmesini gerektirir. Bu örneklerin önemi, vekil modeli geliştirmede, doğrulamada ve modelin doğruluğunu sağlamada yattığı için önemlidir. Eğitim örnekleri vekil modeli oluşturmak için kullanılır. Modelin girdi değişkenleri (tasarım değişkenleri) ile çıktı arasındaki ilişkileri öğrenmesi için gerekli verileri sağlarlar. Bu örneklerin çeşitliliği ve temsilciliği ciddi öneme sahiptir. Modelin genelleştirebilmesini ve yeni, görülmemiş veriler için doğru tahmin yapabildiğini sağlamak için tasarım alanı içinde olası senaryoları geniş bir yelpazede kapsamalılar. Test örnekleri ise modeli doğrulamak için hayati öneme sahiptir. Eğitim aşamasında kullanılmazlar ve bağımsız bir şekilde modelin tahmin doğruluğunu değerlendirmek için hizmet ederler. Modelin bu test örneklerindeki tahminlerini gerçek sonuçlarla karşılaştırarak, modelin altta yatan desenleri etkin bir şekilde öğrenip öğrenmediğini veya sadece eğitim verilerini ezberleyip ezberlemediğini (aşırı uyum) anlayabiliriz. Dolayısı ile eğitim ve test örnekleri modelin geliştirilmesinde ciddi bir rol almaktadırlar. Yalnız, detaylı bir eğitim veri seti oluşturmak için, her bir değişkenden lineer örnekleme yöntemi ile 10 adet örnek alınması toplamda 1 milyon (10⁶) adet veri örneğine denk gelecektir. Böylesine büyük bir veri setini hazırlamak ciddi anlamda bir süreye ve maliyete ihtiyacı vardır ki birçok problemde bu denli bir kaynağın kullanımı verimlilik açısından uygun bir çözüm değildir, özellikle SEY gibi veri üretim süresinin ciddi zaman aldığı uygulamalarda.

Bu tarz yüksek sayıda değişkene sahip problemlerde, pratik ve verimli model eğitimi için, Latin Hiperküp Örnekleme (LHÖ), Deney Tasarımı veya adaptif örnekleme yöntemleri gibi alternatif örnekleme yöntemleri tercih edilir. Bu yöntemler, üssel olarak büyük bir veri setine ihtiyaç duymadan tasarım alanı hakkında en fazla bilgiyi yakalamayı amaçlar ve her değişkenin aralığını etkili bir şekilde kapsamaya odaklanır. Bu çalışma kapsamında ise, LHÖ [36] yöntemi kullanılarak 800 adet eğitim ve 50 adet test verisi ANSYS modeli yardımı ile oluşturulmuştur. Bu sayede geliştirecek olan modelin genelleme yeteneğinin doğru bir şekilde incelenmesi hedeflenmiştir.

3. Yapay Zeka Tabanlı Vekil Modelleme (Artificial Intelligence Based Surrogate Modelling)

Veriye dayalı vekil modelleme, geleneksel ve genellikle yoğun hesaplama gerektiren simülasyon yöntemlerine pratik ve etkin bir alternatif olarak ortaya çıkan ileri düzey bir hesaplama tekniğidir. Mühendislik ve bilimsel araştırmalarda, vekil modeller, ampirik verilere dayanarak karmaşık sistemlerin davranışını taklit etmek için tasarlanmıştır. Bir vekil modelin temel amacı, yapısal analizdeki SEY simülasyonları gibi daha karmaşık veya zaman alıcı bir sürecin yaklaşık ancak yüksek derecede doğru bir temsilini sağlamaktır. Veriye dayalı vekil modellemenin özü, var olan veri kümelerinden öğrenme ve yeni giriş verileri setleri için sonuçlar tahmin etme yeteneğindedir. Bu yaklaşım, tam ölçekli simülasyonların maliyetli veya zaman alıcı olduğu senaryolarda özellikle faydalıdır. Tren tekerleklerinin yorgunluk analizinde, vekil modeller, önceki simülasyon sonuçlarına dayanarak stres, gerilme ve yorgunluk ömrünü tahmin edebilir, bu da ayrıntılı simülasyonların tekrarlanmasının gerekliliğini önemli ölçüde azaltır.

Tren tekerleklerinin yorgunluk özelliklerinin vekil modellemesinde, YZ, doğrusal olmayan stres-gerinme ilişkilerini ve çeşitli yorgunluğa neden olan faktörleri doğru bir şekilde yakalayabilir. Bu ağlar, farklı yüklemeye ve/veya tasarım değişkenlerinin koşulları altında tren tekerleklerinin kapsamlı SEY simülasyonlarından elde edilen veri kümeleri üzerinde eğitilebilir. Bir kez eğitildiklerinde, YZ'ler tren tekerleklerinin yorgunluk ömrünü ve güvenlik katsayısını hızla tahmin edebilir, bu da her yeni tasarım veya senaryo için yoğun hesaplama gerektiren SEY simülasyonlarını etkili bir şekilde atlatır. Bu bağlamda YZ'lerin kullanımı, sadece tahmin sürecini hızlandırmakla kalmaz, aynı zamanda yüksek doğruluk ve güvenilirlik sağlar, tren tekerlekleri gibi güvenlik kritik bileşenler için hayati öneme sahiptir. Bu bölümde, tasarımın girdi ve çıktıları arasındaki eşleşmeyi sağlayacak bir vekil model oluşturmak için çeşitli ileri düzey ve yaygın kullanılan regresyon teknikleri kullanılmıştır. Vekil modelleri geliştirmek için aşağıdaki yöntemler potansiyel adaylar olarak seçilmiştir: (i) Çok Katmanlı Algılayıcı (ÇKA) [37], (ii) Destek Vektör Regresyon Makinesi (DVRM) [38], (iii) Topluluk Öğrenmesi (TÖ) [39], (iv) Gauss Süreci Regresyonu (GSR) [40-41]. Her modelin hiper-parametreleri, Ortalama Mutlak Hata (OMH) metriği (Denklem 1) kullanılarak k-katlamalı (k=3) çapraz doğrulama (K-ÇD) yöntemi ile izgara-arama optimizasyon yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. Bu vekil modellerin karşılaştırmalı performansı Tablo 3'te ayrıntılı olarak verilmiştir. Bulgular, YZ algoritmalarından en bilineni olan GSR yönteminin diğer algoritmalarla kıyasla verimlilik açısından daha iyi performans gösterdiğini göstermektedir. Bu nedenle, tekerleğin tasarım optimizasyon süreci için birincil vekil model olarak GSR modeli benimsenecektir.

$$OMH = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |H_i - T_i| \quad (1)$$

$$ROMH = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|H_i - T_i|}{|H_i|} \quad (2)$$

Burada, T_i , i'inci örneğin vekil model tarafından tahmin edilen değer, H_i , ise i'inci örneğin hedeflenen değeridir, N ise toplam test kümesindeki veri sayısını ifade eder.

Tablo 3. Çeşitli yapay zeka modellerinin OMH performans sonuçları (MAE performance results of various AI models)

Model	Hiper-Parametreler	OMH	ROMH [%]
ÇKA	İki katmanlı, 5 ve 10 nöron; tansig	0.29	12.4
DVRM	Box Constraint 66.3, Kernel Gaussian, Kernel Scale 1.97	0.42	17.9
TÖ	Max split 366, type Tree, # learner 249 Method type Bag	0.33	14.5
GSR	Rational Quadratic, fit method Exact	0.11	5.9

GSR tabanlı vekil modeli aşağıda verilen maliyet fonksiyonu ve Bal Arısı çiftleşme optimizasyonu [42] algoritması kullanılarak bir tren tekerinin istenilen kuvvet (F) altında güvenlik faktörünü sağlayacak optimum değişkenleri $\mathbf{x} = [TekerR, MilR, MilW]$ elde etmesi hedeflenmiştir. Tablo 4 de 4 farklı senaryo için optimizasyon sonuçları sunulmuştur.

$$Maliyet(\mathbf{x}) = \max \{ F = \text{istenilen} : GK(\mathbf{x}) \} \quad (3)$$

Tablo 4. Optimum elde edilmiş değişken değerleri (Optimally obtained design values)

Senaryo #	Hedef Kuvvet [KN]	Parametre [TekerR, MilR, MilW]	GSR+BÇO ile elde edilen / ANSYS ile elde edilen GK değeri
1	-410	492.18 ; 89.89 ; 148.0	6.03 / 5.85
2	-430	496.80 ; 80.52 ; 144.5	5.64 / 5.37
3	-450	480.29 ; 80.95 ; 133.1	5.74 / 5.36
4	-480	479.85 ; 77.24 ; 148.7	5.71 / 5.84

Burada dikkat edilmesi gereken husus önerilen GSR tabanlı vekil model yaklaşımı ile, sadece 850 örnek kullanılarak (800 (eğitim) + 50 (test)) model oluşturmak için gereken toplam süre yaklaşık 38250 dakika (850×45) olacaktır. Ancak model oluşturulduktan sonra vekil modelin yanıt süresi 0.001 saniyeden kısadır (Tablo 2de kullanılan bilgisayar ile). Ele alınan problem için elde edilen hızlandırmayı kısaca özetlemek gerekirse, incelenen tekerin 4 farklı tasarım durumu için tasarım optimizasyonu, önerilen yaklaşım kullanılarak toplam gerekli süre, veri üretimine eğitim (637.5 saat = 38250 dakika) ve optimizasyon süreci (4 saniye = $4 \times 1000 \times 0.001$ saniye) dahil olmak üzere 638 saatten fazla değildir, oysa doğrudan SEY optimizasyon yaklaşımı 40 iterasyon ve 50 popülasyonu 4 farklı problem için 6000 ($2000 \times 4 \times 45$) saat gerektirir. Böylece tasarımın genel hesaplama maliyeti neredeyse %90 azaltılmış olur.

4. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Bu çalışmada, geometrik tasarım değişkenleri, uygulanan kuvvet ve tasarımın yorulma özellikleri arasında bir haritalama oluşturmak için yüksek doğrulukta, hızlı ve güvenilir bir veri tabanlı vekil model elde etmek için ÇKA, DVRM, TÖ, GSR gibi yaygın kullanılan ve son teknoloji yapay zeka algoritmaları kullanılarak bir tren tekerleğinin tasarım optimizasyonu verimli bir şekilde incelenmiştir. Veri tabanlı vekil modelin oluşturulması için veri setinin boyutunun mümkün olduğunca düşük olması gerektiğinden, hesaplamalı olarak verimli bir yaklaşım için 850 farklı tasarım örneği vekil modellerin eğitimi ve performans doğrulaması için kullanılmış ve sonuç olarak GSR modelinin seçilen problem için en umut verici çözüm olduğu bulunmuştur. Bundan sonra, dört farklı çalışma durumu tasarımı optimizasyon problemi olarak ele alınmış ve bu çalışma durumları için HBMO ve GSR tabanlı vekil model kullanılmıştır. Bu dört çalışma durumundan elde edilen simüle sonuçlara dayanarak, önerilen Vekil Modelleme yaklaşımı yorulma özellikleri analizleri için son derece doğru bir tahmin başarısı göstermiştir. Tekrar belirtmek gerekirse, çalışmanın ana amacı, yüksek performanslı bir tekerlek tasarımı önermek yerine, tren tekerlek tasarımlarının yorulma özellikleri gibi Sonlu Eleman Yöntemi ile simülasyon gerektiren problemler için düşük hesaplamalı maliyetli, hızlı ve doğru tasarım optimizasyonu çözümü olarak kullanılacak yeni bir veri tabanlı vekil modelleme yaklaşımını tanıtmaktır. Gelecekteki çalışmalarda, yazarlar çalıştıkları problemin tasarım değişkenlerini dinamik 3D modeller ve daha karmaşık tasarımlar için ek tasarım değişkenleri ile genişletmeyi hedeflemektedirler.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

Kaynaklar (References)

- Adriano, V. S. R., Martínez, J. M. G., Ferreira, J. L. A., Araújo, J. A., & Da Silva, C. R. M. (2018). The influence of the fatigue process zone size on fatigue life estimations performed on aluminum wires containing geometric discontinuities using the Theory of Critical Distances. *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, 97, 265-278.
- Andújar, Rabindranath, Jaume Roset, and Vojko Kilar. "Beyond FEM: overview on physics simulation tools for structural engineers." *Technics Technologies Education Management* 6, no. 3 (2011): 555-571.
- Ansys, <https://www.ansys.com/>. Available on (24.11.2023)
- Bhat, S., and R. Patibandla. "Metal fatigue and basic theoretical models: a review." *Alloy steel-properties and use* 22 (2011).
- Bian, Jian, Yuantong Gu, and Martin Howard Murray. "A dynamic wheel-rail impact analysis of railway track under wheel flat by finite element analysis." *Vehicle System Dynamics* 51, no. 6 (2013): 784-797.
- Bracamonte, A. J., Mercado-Puche, V., Martínez-Arguelles, G., Pumarejo, L. F., Ortiz, A. R., & Herazo, L. C. S. (2023). Effect of Finite Element Method (FEM) Mesh Size on the Estimation of Concrete Stress-Strain Parameters. *Applied Sciences*, 13(4), 2352.
- Cwik, Tom, Daniel S. Katz, and Jean Patterson. "Scalable solutions to integral-equation and finite-element simulations." *IEEE Transactions on Antennas and Propagation* 45, no. 3 (1997): 544-555.
- de Gooijer, B. M., Havinga, J., Geijselaers, H. J., & van den Boogaard, A. H. (2021). Evaluation of POD based surrogate models of fields resulting from nonlinear FEM simulations. *Advanced Modeling and Simulation in Engineering Sciences*, 8(1), 1-33.
- Drucker, H., Burges, C. J., Kaufman, L., Smola, A., & Vapnik, V. (1996). Support vector regression machines. *Advances in neural information processing systems*, 9.
- Du, X., He, P., & Martins, J. R. (2021). Rapid airfoil design optimization via neural networks-based parameterization and surrogate modeling. *Aerospace Science and Technology*, 113, 106701.
- Efthimeros, G. A., D. I. Photeinos, Z. G. Diamantis, and D. T. Tsahalis. "Vibration/noise optimization of a FEM railway wheel model." *Engineering Computations* 19, no. 8 (2002): 922-931.
- Feather, W. G., Lim, H., & Knezevic, M. (2021). A numerical study into element type and mesh resolution for crystal plasticity finite element modeling of explicit grain structures. *Computational Mechanics*, 67, 33-55.
- Gardner, M. W., & Dorling, S. R. (1998). Artificial neural networks (the multilayer perceptron)—a review of applications in the atmospheric sciences. *Atmospheric environment*, 32(14-15), 2627-2636.
- Ghiasi, R., Ghasemi, M. R., & Noori, M. (2018). Comparative studies of metamodelling and AI-Based techniques in damage detection of structures. *Advances in Engineering Software*, 125, 101-112.

- Güneş, F., Demirel, S., & Mahouti, P. (2016). A simple and efficient honey bee mating optimization approach to performance characterization of a microwave transistor for the maximum power delivery and required noise. *International Journal of Numerical Modelling: Electronic Networks, Devices and Fields*, 29(1), 4-20.
- Koziel, S., Belen, M. A., Çalışkan, A., & Mahouti, P. (2023). Rapid Design of 3D Reflectarray Antennas by Inverse Surrogate Modeling and Regularization. *IEEE Access*, 11, 24175-24184.
- Kraus, M. A., Bischof, R., Kaufmann, W., & Thoma, K. (2022). Artificial intelligence-finite element method-hybrids for efficient nonlinear analysis of concrete structures. *Acta Polytechnica CTU Proceedings*, 36, 99-108.
- Kudela, J., & Matousek, R. (2022). Recent advances and applications of surrogate models for finite element method computations: A review. *Soft Computing*, 26(24), 13709-13733.
- Kukulski, J., Jacyna, M., & Gołębiowski, P. (2019). Finite element method in assessing strength properties of a railway surface and its elements. *Symmetry*, 11(8), 1014.
- Li, Yang, Mi Zhao, Cheng-shun Xu, Xiu-li Du, and Zheng Li. "Earthquake input for finite element analysis of soil-structure interaction on rigid bedrock." *Tunnelling and Underground Space Technology* 79 (2018): 250-262.
- Liu, Kai, and Lin Jing. "A finite element analysis-based study on the dynamic wheel-rail contact behaviour caused by wheel polygonization." *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit* 234, no. 10 (2020): 1285-1298.
- Liu, Yongming, Liming Liu, and Sankaran Mahadevan. "Analysis of subsurface crack propagation under rolling contact loading in railroad wheels using FEM." *Engineering fracture mechanics* 74, no. 17 (2007): 2659-2674.
- Loh, W. L. (1996). On Latin hypercube sampling. *The annals of statistics*, 24(5), 2058-2080.
- Long, Y. Q., Cen, S., & Long, Z. F. (2009). *Advanced finite element method in structural engineering* (pp. 495-586). Beijing: Tsinghua University Press.
- Mendes-Moreira, J., Soares, C., Jorge, A. M., & Sousa, J. F. D. (2012). Ensemble approaches for regression: A survey. *Acm computing surveys (csur)*, 45(1), 1-40.
- Naboulsi, S., & Mall, S. (2003). Fretting fatigue crack initiation behavior using process volume approach and finite element analysis. *Tribology international*, 36(2), 121-131.
- Okereke, M., Keates, S., Okereke, M., & Keates, S. (2018). Finite element mesh generation. *Finite Element Applications: A Practical Guide to the FEM Process*, 165-186.
- Patel, Sunil, Veerendra Kumar, and Raji Nareliya. "Fatigue analysis of rail joint using finite element method." *International Journal of Research in Engineering and Technology* 2, no. 1 (2013): 80-84.
- Plevris, V., & Tsiatas, G. C. (2018). Computational structural engineering: Past achievements and future challenges. *Frontiers in Built Environment*, 4, 21.
- Saneie, Hamid, Ramin Alipour-Sarabi, Zahra Nasiri-Gheidari, and Farid Tootoonchian. "Challenges of finite element analysis of resolvers." *IEEE Transactions on Energy Conversion* 34, no. 2 (2018): 973-983.
- Schulz, E., Speekenbrink, M., & Krause, A. (2018). A tutorial on Gaussian process regression: Modelling, exploring, and exploiting functions. *Journal of Mathematical Psychology*, 85, 1-16.
- Sun, G., & Wang, S. (2019). A review of the artificial neural network surrogate modeling in aerodynamic design. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part G: Journal of Aerospace Engineering*, 233(16), 5863-5872.
- Swiler, L. P., Gulian, M., Frankel, A. L., Safta, C., & Jakeman, J. D. (2020). A survey of constrained Gaussian process regression: Approaches and implementation challenges. *Journal of Machine Learning for Modeling and Computing*, 1(2).
- Szabó, B., & Babuška, I. (2021). *Finite Element Analysis: Method, Verification and Validation*.
- Wang, J., Jiang, H., Chen, G., Wang, H., Lu, L., Liu, J., & Xing, L. (2023). Integration of multi-physics and machine learning-based surrogate modelling approaches for multi-objective optimization of deformed GDL of PEM fuel cells. *Energy and AI*, 14, 100261.
- Wu, S. W., Wan, D. T., Jiang, C., Liu, X., Liu, K., & Liu, G. R. (2023). A finite strain model for multi-material, multi-component biomechanical analysis with total Lagrangian smoothed finite element method. *International Journal of Mechanical Sciences*, 243, 108017.
- Yang, X. S., Koziel, S., & Leifsson, L. (2014). Computational optimization, modelling and simulation: Past, present and future. *Procedia Computer Science*, 29, 754-758.
- Yao, J., Ye, Z., & Wang, Y. (2014). An efficient SRAM yield analysis and optimization method with adaptive online surrogate modeling. *IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems*, 23(7), 1245-1253.
- Zahavi, E. (2019). *Fatigue design: life expectancy of machine parts*. CRC press.
- Zhang, Guanzhen, and Ruiming Ren. "Study on typical failure forms and causes of high-speed railway wheels." *Engineering Failure Analysis* 105 (2019): 1287-1295.
- Zhou, M., Mei, G., & Xu, N. (2023). Enhancing Computational Accuracy in Surrogate Modeling for Elastic-Plastic Problems by Coupling S-FEM and Physics-Informed Deep Learning. *Mathematics*, 11(9), 2016.
- Zhu, Yi, Wenjian Wang, Roger Lewis, Wenyi Yan, Stephen R. Lewis, and Haohao Ding. "A review on wear between railway wheels and rails under environmental conditions." *Journal of Tribology* 141, no. 12 (2019): 120801.



TÜRKÇE KONUŞMADA DUYGU TANIMA İÇİN MAKİNE ÖĞRENME YÖNTEMLERİ VE DERİN ÖĞRENME TABANLI MODELLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

Zekeriya Anıl GÜVEN^{1*}

İzmir Bakırçay Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye

Anahtar Kelimeler

*Duygu analizi,
Duygu tanıma,
Ses analizi,
Makine öğrenmesi,
Derin öğrenme modelleri.*

Öz

Son zamanlarda veri miktarına bağlı olarak sağlık, eğitim, pazarlama gibi birçok alanda analizlere ihtiyaç duyulmaktadır. Duygu analizi ise bu alanlarda kişilerin yorumlarını analiz etme, duygularını çıkarma için oldukça popüler bir alandır. Bu çalışmada kızgın, mutlu, sakin ve üzgün duygu etiketleri içeren Türkçe konuşma veri seti üzerinde, ses karakteristik özellikleri ve spektrogramlardan yararlanarak duyguların tespit edilmesi amaçlanmaktadır. Analiz aşamasında Librosa kütüphanesi ile çıkarılan sayısal özellikler ile makine öğrenme yöntemleri ve derin sinir ağları eğitilerek başarıları ölçülmüştür. Ayrıca düşük varyans filtreleme, geri yönlü özellik eleme, ki-kare ve temel bileşen analizi yöntemleri ile özellik azaltım işlemi uygulanarak elde edilen yeni özellikler ile makine öğrenme yöntemlerinin başarısındaki değişiklikler de araştırılmıştır. Görsel veri olan spektrogramlar ise CNN, RNN, LSTM, EfficientNet, ResNet, MobileNet ve DenseNet derin öğrenme tabanlı modellerin eğitilmesi için kullanılmıştır. Modellerin eğitim aşamasında veri seti ile beraber modellere ince ayar işlemi uygulanmıştır. Deneysel çalışmaların sonucunda makine öğrenme yöntemlerinden Ekstrem Gradient Artırma %87.03 doğruluk değeri verirken, ResNet modeli ise %79.23 doğruluk değeri vermiştir.

COMPARISON OF MACHINE LEARNING METHODS AND DEEP LEARNING-BASED MODELS FOR EMOTION RECOGNITION IN TURKISH SPEECH

Keywords

*Sentiment analysis,
Emotion recognition,
Voice analysis,
Machine learning,
Deep learning models.*

Abstract

Recently, depending on the amount of data, analyzes are needed in many areas such as health, education and marketing. Sentiment analysis is a very popular area for analyzing people's comments and extracting their emotions in these areas. This study aims to determine the emotions by using voice characteristics and spectrograms on the Turkish speech dataset containing angry, happy, calm and sad emotion labels. In the analysis phase, machine learning methods and deep neural networks were trained, and their success was measured with the numerical features extracted from Librosa library. In addition, feature reduction was applied with low variance filtering, backward feature elimination, chi-square and principal component analysis methods, and the changes in the success of machine learning methods were also investigated with the new features obtained. The spectrograms, which are visual data, were used to train CNN, RNN, LSTM, EfficientNet, ResNet, MobileNet and DenseNet deep learning-based models. During the training phase of these models, fine-tuning process was applied to these models together with the dataset. As a result of the experimental studies, Extreme Gradient Boosting, one of the machine learning methods, gave an accuracy value of 87.03%, while the ResNet model gave an accuracy value of 79.23%.

Alıntı / Cite

Güven Z.A. (2024). Türkçe Konuşmada Duygu Tanıma İçin Makine Öğrenme Yöntemleri Ve Derin Öğrenme Tabanlı Modellerin Karşılaştırılması, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 12(2), 285-297.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

Z.A. Güven, 0000-0002-7025-2815

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	28.08.2023
Revizyon Tarihi / Revision Date	09.01.2024
Kabul Tarihi / Accepted Date	18.03.2024
Yayın Tarihi / Published Date	30.06.2024

* İlgili yazar / Corresponding author: anilguven1055@gmail.com, +90 506 562 3572

COMPARISON OF MACHINE LEARNING METHODS AND DEEP LEARNING-BASED MODELS FOR EMOTION RECOGNITION IN TURKISH SPEECH

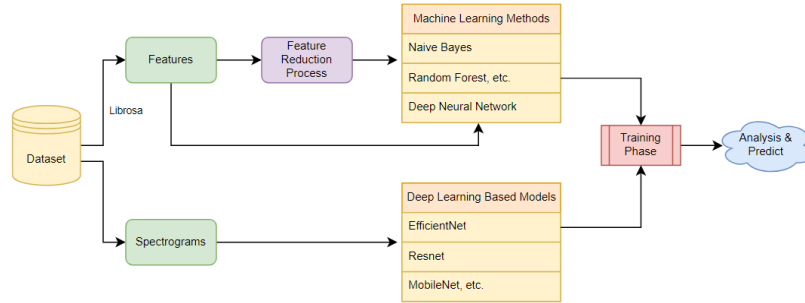
Zekeriya Anıl GÜVEN^{1†}

İzmir Bakırçay Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye

Highlights

- It fills the gap in the literature on voice analysis in terms of Turkish language.
- By using the current deep learning-based models in the training-test phase, it is provided to compare with traditional models for Turkish.
- The effect of applying feature reduction methods on the methods was investigated.

Graphical Abstract



Şekil./Figure. Çalışmanın metodolojisi (The methodology of this study)

Purpose and Scope

Due to the scarcity of studies on the Turkish language, this study aims to determine the emotions with methods and models by using sound characteristics and spectrograms on the Turkish speech dataset containing angry, happy, calm and sad emotion labels.

Design/methodology/approach

When the methodology is examined, in the first stage, sound characteristics are extracted by reading the sound files through the Librosa library. Extracted features are trained and tested by applying machine learning methods to deep neural networks. Models, on the other hand, are trained with extracted spectrogram image features specific to audio recordings. Then, the system is re-trained and re-tested with methods as a result of the selection of more relevant features by using feature reduction methods. As a result of these processes, a structure that can extract the emotion of the audio recording for Turkish is presented.

Findings

Two different feature extractions were used during the training phase, namely the numerical features obtained with the Librosa library and the spectrogram image features. In the first stage, the numerical features obtained with Librosa were trained with machine learning methods and deep neural networks, and the success of the methods was measured. As a result of this analysis, an accuracy value of approximately 87.03% was obtained with the Extreme Gradient Boosting (XGB) method. Since many features are used in the training phase, the effect of these methods on success was analyzed by using feature reduction methods in the next step. As a result of the analysis, as a result of the decrease in the features with the Low Variance Filtering method, the XGB method gave an accuracy value of 86.74%, while there was a decrease of approximately 0.3% in success. The reason for this decrease can be stated as the deletion of the features that have a positive effect on success.

The spectrogram features, in which the frequency spectrum of the audio recordings is displayed visually, were used in the training of deep learning-based models. As a result of the use of normalized spectrograms, ResNet among the models reached an accuracy of 79.23%. Here, the reason for the low success of the model compared to machine learning methods can be shown as the insufficient dataset to fine-tune the model with millions of parameters. The most unsuccessful among the models was MobileNetV2.

Originality

This study fills the gap in the literature on emotion analysis with the voice in terms of the Turkish language. It also uses the current deep learning-based models in the training-test phase and provides to comparison with traditional models for Turkish.

[†] İlgili yazar / Corresponding author: anilguven1055@gmail.com, +90 506 562 3572

1. Giriş (Introduction)

Günümüzde veri sayısının oldukça artmasından dolayı birçok alanda konuya özgü analiz yapılmaktadır. Bilgisayar bilimleri alanında doğal dil işleme, görüntü işleme, ses ve sinyal işleme alanlarına özgü analizler ile çevreye fayda sağlanmaktadır. Bir ürüne özgü yorumları içeren duygu analizi, kameradan belli nesneyi tanımayı sağlayan nesne tespiti, konuşan kişinin aksanını tespit etme gibi konular bu faydalara örnek olarak verilebilmektedir.

Ses analizi alanı sağlık, ticaret gibi birçok sektörde yararlanılan alanlardandır. Canlılara ait ses karakteristik özellikleri ile yapılan analizler ses analizi olarak bilinmektedir. Kişilerin hasta olup olmadığını, kuşların ötme sesine göre türünü, kişilerin aksanını veya duygusunu, müzik türlerini, vs. tespit ederken kullanılmaktadır. Ses karakteristik özellikleri, canlıya özgü olan özelliklerdir. Tempo, shimmer, jitter, spektrogram, chromogram, spektral flux gibi frekans veya zaman domaini için özellikler bulunmaktadır. Bu özelliklerden bazıları (tempo, shimmer, vs.) sayısal veri olarak analiz edilirken, bazıları (spektrogram, vs.) ise görsel olarak analiz edilmektedir. Bu özellikler kullanılacak yöntemlere veya modellere eğitim için verildikten sonra test işlemiyle sistemin başarısı ölçülmektedir.

Duygu analizi veya tanıma, kişilerin verilerden duygusunun çıkarıldığı analiz türüdür. Olumlu, olumsuz, nötr gibi duygu analizine ek olarak kızgın, mutlu, üzgün gibi duyguya özgü analizler de yapılmaktadır. Ses analizi ile de kişinin duygusu tespit edilebilmektedir. Kişinin sesindeki vurgudan, tempodan yararlanarak elde edilen kişinin sesine özgü karakteristik özellikler duyguyu belirleyebilmektedir. Genel olarak bu tür çalışmalar İngilizce dili üzerine yapılmaktadır. Literatürde Türkçe diline katkı sağlamak amacıyla çalışmada Türkçe konuşma ses kayıtları kullanılarak ses karakteristik özellikleri ile kişinin duygu çıkarımı yapılması amaçlanmaktadır. Bunun için kızgın, sakin, mutlu ve üzgün olmak üzere 4 duygu içeren TurEv-DB[‡] veri seti kullanılmıştır. Veri setine ait çıkarılan sayısal özellikler makine öğrenme yöntemleri, derin sinir ağları ile eğitim-test aşamasına verilirken, spektrogram içeren görsel özellikler ise CNN, LSTM, RNN, EfficientNet, Resnet gibi derin öğrenme tabanlı modellere eğitim-test için verilmiştir. Böylece hem sayısal ve görsel özelliklerin hem de yöntemler ve modellerin sınıflandırmaya etkisi araştırılmıştır. Ayrıca sayısal özellikler için özellik azaltım yöntemleri kullanılarak sistemin başarısına etkisi de analiz edilmiştir.

Çalışmanın katkısı incelendiğinde;

- Türkçe dili açısından ses analizi üzerine literatürdeki eksikliği gidermektedir.
- Güncel derin öğrenme tabanlı modellerin eğitim-test aşamasında kullanılmasıyla geleneksel modeller ile karşılaştırılması sağlanmıştır.
- Özellik azaltım yöntemleri uygulamanın yöntemler üzerindeki etkisi araştırılmıştır.
- Geçmiş çalışmalara ek olarak Türkçe konuşmada duygu tanıma için derin öğrenme tabanlı modeller kullanılmasına öncü olmuştur.

Çalışmanın akışı düşünüldüğünde; "Kaynak Araştırması" başlığı altında ses ile duygu analizine özgü literatürde yer alan çalışmalar anlatılmaktadır. Veri seti, kullanılan makine öğrenme yöntemleri ve derin öğrenme tabanlı modeller, özellik azaltım teknikleri gibi kullanılan tüm materyal ve metotlar üçüncü başlık altında anlatılmaktadır. "Deneysel Sonuçlar" başlığı altında ise uygulanan tüm analizler tablo ve şekiller ile açıklanmaktadır. Çalışmanın sonuçlarının değerlendirilip tartışılması ise beşinci başlık altında gerçekleştirilmektedir.

2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Singh (2021), duygu tespiti yapabilmek için kullanıcının sesi üzerinde Librosa kütüphanesinden yararlanarak bir analiz gerçekleştirmiştir. Analiz aşamasında İngilizce veri seti kullanılmış ve sistem makine öğrenme yöntemleriyle test edilmiştir. Murwati ve Aldianto (2022), tüketicilerin Twitter'da kullanıcı tarafından oluşturulan içeriğe dayalı olarak müşteri hizmetleri için sohbet robotlarına yönelik duygularını belirleyen sözlük tabanlı TextBlob ve lojistik regresyon tekniklerini içeren hibrit bir yöntem kullanmışlardır. Sonuçlar, insanların genel olarak chatbotları olumlu karşıladığını göstermişlerdir. Oflazoglu ve Yildirim (2013), Türk filmlerinden konuşma duygu veri seti oluşturmuşlar ve akustik özellikler kullanılarak nötr, üzgün, mutlu, korkunç duyguları tespit etmişlerdir. Koren ve Stipancic (2021), konuşmanın akustik ve dilbilimsel özelliklerine dayanan bir duygu tanıma yöntemi önermişlerdir. Ses, akustik alt yonteme bağlıyken, dilbilimsel alt yöntem, özel bir doğal dil işleme modelinin kullanıldığı metin mesajlarıyla ilişkilendirilmiştir. Ren vd. (2014), büyük ölçekli ağ bağlantılı ses verilerinden duygu tahmini belirlemeyi amaçlamışlardır. İlk olarak insan-mobil sesli iletişimdeki veri gözlemlerini ve altta yatan duygu kalıplarını araştırmışlardır. Sonraki aşamada duyguları otomatik olarak tahmin etmek için akustik özellikleri, içerik bilgilerini ve coğrafi bilgileri birleştirmek için derin bir sığ sinir ağı (DSNN) modeli önermişlerdir. Canpolat vd. (2020), Türkçe için ses kayıtlarından duygu veri seti oluşturmuşlardır. Veri setini

[‡] <https://github.com/Xeonen/TurEV-DB>

frekans aralıklarında analiz ederek Konvolüsyonel Sinir Ağı (CNN) ve DVM yöntemleri üzerinde eğitim gerçekleştirmişlerdir. Özönmez vd. (2021), akustik özellik çıkarım yöntemleri ile elde edilen özelliklere Temel Bileşenler Analizi yöntemini uygulayarak özellik azaltımını sağlamışlar ve yapay sinir ağı modellerinin mimarisini duygu sınıflandırma için Türkçe konuşma veri setleri üzerinde uygulamışlardır. Anand ve Patra (2022), ses tabanlı duygu analiz sistemini iki farklı yaklaşım ile değerlendirmişlerdir. İlk olarak, sesi metne dönüştürerek metni analiz etmişlerdir. Diğer yaklaşımda ise sesi girdi olarak kullanıp ses özellikleriyle duygu analizi yapmışlardır. Alu vd. (2017), ses örneklerini işleyen ve sınıflandıran derin bir CNN mimarisi ile sesten duygu algılamanın uygulanmasını sunmuşlardır. Satyanarayana vd. (2020), Amazon Comprehend hizmetini kullanarak, görüntü, ses vb. yapılandırılmamış verileri çıkarmışlar ve konuşmanın olumlu, olumsuz, nötr veya karışık duygu olup olmadığı konusunda çıktı elde etmişlerdir.

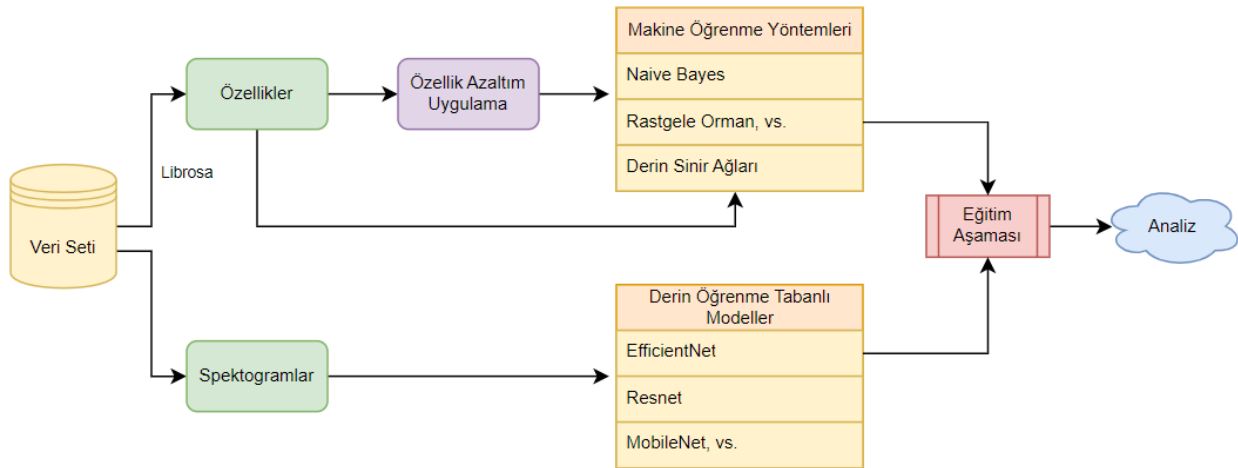
Duygu analizi haricinde ses analizi birçok konu için kullanılmaktadır. Aksan sınıflandırma (Wu vd., 2019; Najafian ve Russell, 2020), kişinin hasta olup olmadığını tespit etme (Tracy vd., 2020; Ali vd., 2019), müzik türlerini belirleme (Pelchat ve Gelowitz, 2020; Elbir ve Aydın, 2020) bu konulara örnek olarak verilebilir.

Literatür incelendiğinde hem Türkçe dili, hem de günümüzde popüler olan derin öğrenme tabanlı modellerin geleneksel yöntemlerle kıyaslanması açısından çalışmalar sınırlıdır. Ayrıca sayısal özellikler ile görsel özelliklerin sınıflandırmaya etkisini araştıran çalışmalar da oldukça azdır. Bundan dolayı, bu çalışma belirtilen boşlukları literatür için doldurmaktadır.

3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Çalışmada kullanılan Türkçe konuşma içeren duygu veri seti, makine öğrenme yöntemleri, derin sinir ağları, derin öğrenme tabanlı Keras uygulama modelleri[§] ve özellik azaltım yöntemleri bu başlık altında anlatılmaktadır.

Metodoloji incelendiğinde, ilk aşamada ses dosyaları Librosa** kütüphanesi aracılığıyla okunarak ses karakteristik özellikleri çıkarılmaktadır. Çıkarılan sayısal özellikler makine öğrenme yöntemleri, derin sinir ağlarına verilerek eğitilip test edilmektedir. Modeller ise ses kayıtlarına özgü çıkarılan görsel spektrogram özellikleri ile eğitilmektedir. Ardından sadece sayısal özellikler için özellik azaltım yöntemleri kullanılarak daha ilgili özelliklerin seçilmesi sonucunda sistem yeniden makine öğrenme yöntemleri ile eğitilip test edilmektedir. Bu işlemler sonucunda Türkçe için ses kaydına ait duyguyu çıkarabilen bir yapı sunulmaktadır. Oluşturulan yapıya ait metodoloji Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1. Çalışmanın metodolojisi (The methodology of this study)

3.1. TurEV-DB Veri Seti (TurEV-DB Dataset)

Veri seti, belirli insanların dört farklı duyguda (kızgın, sakin, mutlu, üzgün) söylediği 82 kelimeye dayanan 1735 tane ses kaydı içermektedir. 82 kelime, kelimelerin fonolojik özellikleri dikkate alınarak Türkçenin Ses Dizgesi'nden (Ergenç ve Uzun, 2017) seçilmiştir. Seçilen kelimelerde, kelimelerin çeşitli konumlarında kullanılan hem sesli hem de sessiz harflerden oluşan bir dizi fonem bulunmaktadır (Canpolat vd., 2020). Tüm ses kayıtlarında bir

[§] <https://keras.io/api/applications/>

^{**} <https://librosa.org/doc/main/index.html>

kelime üzerinde duyguya ait söylem ile kayıt gerçekleştirilmiştir. Tablo 1 korpustaki ses kayıtlarının kayıt alınan kullanıcılara göre sayısını göstermektedir.

Tablo 1. Ses kayıtlarının kullanıcıya göre istatistikleri (Canpolat vd., 2020) (Statistics of audio recordings by user)

Etiket	Kullanıcı Id						Toplam
	7895	1984	1234	1358	1157	6783	
<i>Kızgın</i>	82	82	82	82	77	82	487
<i>Sakin</i>	80	82	82	82	0	82	408
<i>Mutlu</i>	29	82	82	82	0	82	357
<i>Üzgün</i>	82	82	82	82	73	82	483
Toplam	273	328	328	328	150	328	1735

3.2. Özellik Çıkarım Kütüphanesi (Feature Extraction Library)

Librosa kütüphanesi, ses kayıtlarının okunması ve ses karakteristik özelliklerinin çıkarılması için kullanılmaktadır. Librosa, müzik ve ses analizi için bir python paketidir. Müzik bilgisine ait getirim sistemleri elde etmek için gerekli özellikleri sağlamaktadır (McFee vd., 2015). Bu kütüphane aracılığıyla zaman ve frekans domainine ait birçok ses karakteristik özellikleri çıkarılmaktadır. Çıkarılan özellikler Tablo 2’de verilmiştir. Tabloda yer alan frekans domainine ait spektral özelliklerin maksimum, minimum, ortalama, standart sapma, basıklık (kurtosis), çarpıklık (skew) değerleri ek özellik olarak elde edilmektedir. Mel-Frekans Kepstral Katsayıları (MFCC) özelliği ise ses frekanslarındaki değişimi belirlenen sayıda çıkarmaktadır. Ayrıca MFCC’nin birinci türevinin değerleri alınarak yine minimum, maksimum, vs. değerleri çıkarılmaktadır. Tüm çıkarılan özellikler göz önüne alındığında toplam özellik sayısı her bir ses kaydı için 175’tir. Tüm özellikler üzerinde yöntemler ile eğitim-test işlemi gerçekleştirildikten sonra, sonraki aşamalar için özellik seçme yöntemleri uygulanarak özellik sayısı azaltılmaktadır.

Tablo 2. Librosa kütüphanesi aracılığıyla çıkarılan özellikler (Extracting features via the Librosa library)

Kütüphane	Çıkarılan Özellik	Özellik Sayısı
Librosa	Spectral centroid	6
	Spectral flux	6
	Spectral bandwidth	6
	Spectral flatness	6
	Spectral rolloff	6
	Spectral contrast	6
	Zero crossing rate	6
	Root mean squared error	6
	Chromagram	6
	Tempo	1
	Mel-Frekans Kepstral Katsayıları	120

Eğitim ve test aşamasında kullanılacak derin öğrenme tabanlı modeller için ise ses kayıtlarının normalize edilmiş görsel spektrogram özellikleri kullanılmıştır. Spektrogram, zamana göre değiştiği için bir sinyalin frekans spektrumunu görsel olarak göstermektedir. Modellerde bu özellik ile eğitilerek frekans üzerindeki görselden ses kayıtlarını duyguya göre sınıflandırmaya çalışmaktadır. Spektrogramların elde edilmesi sürecinde Hamming pencereyi kısa süreli Fourier dönüşümünden (STFT) yararlanılmıştır. STFT algoritmasında %95 örtüşme ile 50 milisaniyeye tekabül eden 2205 örneklilik uzun pencere boyutu kullanılmıştır (Canpolat vd., 2020). Veri setindeki her sınıfa ait spektrogram örnekleri Şekil 2’de verilmiştir.

- Ekstrem Gradient Artırma (XGB): Gradient Artırma algoritmasının optimize edilmiş versiyonudur. XGB, ağaç yapısını oluştururken maksimum derinlik değerinden yararlanmaktadır. Oluşturulan ağaç aşağı yönde aşırı ilerleme gösterirse, ağaç üzerinde budama gerçekleştirilmektedir. Böylece aşırı öğrenme önlenmektedir (Kelle ve Yüce, 2022).
- Destek Vektör Makineleri (DVM): Örüntü tanıma ve regresyon problemlerinin çözümü için temelleri istatistiksel öğrenme teorisine dayanarak önerilmiş bir makine öğrenme algoritmasıdır. Yöntem, verileri optimal olarak kategoriye ayırıp n-boyutlu bir hiperdüzlem oluşturmaya çalışmaktadır (Çevik ve Kayakuş, 2020).
- Derin Sinir Ağları (DNN): Bir DNN, nöronların önceki katmandan nöron aktivasyonlarını girdi olarak aldığı ve basit bir hesaplama gerçekleştirdiği birden çok katman dizisinde düzenlenmiş bir nöron koleksiyonudur. Ağın nöronları, girdiden çıktıya karmaşık doğrusal olmayan bir eşlemeyi (mapping) ortaklaşa uygulamaktadır. Bu eşleme, hata geri yayılımı yöntemi kullanılarak her bir nöronun ağırlıklarının uyarlanmasıyla verilerden öğrenilmektedir (Montavon vd., 2018).

3.5. Derin Öğrenme Tabanlı Modeller (Deep Learning Based Models)

CNN, RNN, LSTM, EfficientNet, ResNet, DenseNet, MobileNet modelleri görsel özellikleri ses analizi için eğitim-test aşamasında kullanan modellerdendir. Bu modeller evrimsel sinir ağlarından yararlanarak geliştirildiğinden yapısal olarak derin öğrenme tabanlıdır. Çalışmada kullanılan tüm modeller Keras'taki uygulamalardan alınmıştır. Modellere değinmek gerekirse:

- **CNN:** Farklı konumlardaki bilgileri başarılı doğrulukla algılayabilen bir yapay sinir ağı biçimidir. Bu model, görüntü işleme ve doğal dil işlemedeki çeşitli sorunları çözmüştür. Öğrenmeyi kolaylaştıran özel bir mimariyle karakterize edilmektedir. CNN çok katmanlı bir ağıdır, dolayısıyla bir katmanın çıktısı bir sonraki katmanın girdisi olmaktadır. Genellikle bir girdi, bir veya birkaç gizli katman ve bir çıktıdan oluşmaktadır (Rhanoui vd., 2019).
- **RNN:** Tekrarlayan sinir ağı (RNN), nöronların w ağırlığındaki yaylarla bağlandığı, birbirine bağlı ve etkileşimli bir nöron ağıdır. Bu tür bir ağ, değişken boyutlardaki girdilerin yanı sıra zaman serileri, yani otomatik konuşma tanıma ve otomatik kalıp tanıma gibi durumlarda çok kullanışlıdır. Bu tür yapay sinir ağlarında bilginin yayılma yönü çift yönlüdür; veri sırasını korur; ve dahili hafızası sayesinde bir döngüye dayandığı için uzun dizilerden oluşan bir giriş arasında bağlantı kurabilmektedir (Rhanoui vd., 2019).
- **LSTM:** Hafızası sayesinde gradient kaybolması sorununu çözebilen RNN'nin bir uzantısıdır. Üç kapı aracılığıyla verilerin okunmasını, yazılmasını ve silinmesini mümkün kılmaktadır. Giriş kapısı, güncellemelere izin verirken veya engellerken, unutmaya kapısı algoritma tarafından öğrenilen ağırlıklara göre önemli değilse bir nöronu devre dışı bırakmaktadır. Çıkış kapısında ise çıktıdaki nöron durumu kontrol edilmektedir (Rhanoui vd., 2019).
- **EfficientNet:** EfficientNet Modelleri, basit ve oldukça etkili bileşik ölçeklendirme yöntemlerine dayalıdır. Bu yöntem, transfer öğrenme veri kümeleri için kullanılan model verimliliğini korurken temel bir CNN'i herhangi bir hedef kaynak kısıtlamasına ölçeklendirmeyi sağlamaktadır (Tan ve Lee, 2019). EfficientNet, bilgisayarla görme görevleri için yeni bir yaklaşım getirmektedir. EfficientNet, B0'dan B7'ye modelleri içerir ve her birinin 5.3 milyondan 66 milyona kadar farklı parametreleri vardır (Marques vd., 2020). Çalışmada B7 modeli kullanılmıştır. Ayrıca bu zamana kadar literatür incelendiğinde Türkçe ses kayıtlarından duygu tespitine ilişkin öğrenmeyi aktarmak için EfficientNet'i kullanan benzer bir çalışma yoktur.
- **ResNet:** ResNet, Artık (Residual) Ağ'ın kısa biçimidir. Derin evrimsel sinir ağları, yıllar içinde görüntü tanıma ve sınıflandırma alanında oldukça fazla kullanılmaktadır. Ancak, kaybolan gradyan ve bozulma problemleri nedeniyle daha derin sinir ağlarını eğitmek zor olmuştur. ResNet, bu iki sorunu da çözmeye odaklanmaktadır. Sinir ağlarında her katman, eldeki görev için eğitilirken düşük veya yüksek seviyeli özellikleri öğrenirken, ResNet modeli bazı artıkları öğrenmeye çalışmaktadır. ResNet modelinde Relu aktivasyonları kullanılmaktadır (Reddy ve Juliet, 2019). ResNet50, 50 katmanlı bir artık ağıdır ve çalışmada bu modelin iki versiyonu kullanılmıştır.
- **DenseNet:** Her katmanı diğer tüm katmanlara ileri beslemeli bir şekilde bağlayan Yoğun Konvolüsyon Ağı (DenseNet) olarak bilinmektedir. L katmanlı geleneksel evrimsel ağlar L bağlantılarına sahipken, her katman ve onu takip eden katman arasında $L*(L+1)/2$ doğrudan bağlantıya sahiptir. Her katman için, önceki tüm katmanların özellik haritaları girdi olarak kullanılmaktadır. Ayrıca kendi özellik haritaları, sonraki tüm katmanlarda girdi olarak kullanılmaktadır. DenseNet'ler yok olan gradyan problemini hafifletirler, özellik yayılımını güçlendirmektedir. Özelliklerin yeniden kullanımını sağlarken, kullanılan parametre sayısını önemli ölçüde azaltmaktadır (Huang vd., 2017). Çalışmada DenseNet121 modeli kullanılmıştır.
- **MobileNet:** MobileNet'ler, hafif, derin sinir ağları oluşturmak için derinlemesine ayrılabilir evrimsel kullanan modern bir mimariye dayanmaktadır. Gecikme ve doğruluk arasında verimli bir şekilde denge

kuran iki basit küresel hiper parametre sunmaktadır. Bu hiper parametreler, model oluşturucunun, problemin kısıtlamalarına dayalı olarak uygulamaları için doğru boyutlu modeli seçmesine olanak tanımaktadır (Howard vd., 2017). Çalışmada MobileNet'in iki versiyonundan yararlanılmıştır.

4. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

Veri setine ait çalışmalar, yöntemler ve modellere ait analizler ve duygu etiketlerine ait çıkarımlar bu bölümdeki alt başlıklar altında detaylı biçimde anlatılmaktadır. Sınıflandırma ölçütü olarak F1-skor, doğruluk, geri çağırma ve kesinlik değerleri kullanılmıştır. Sınıflandırma doğruluğu, doğru sınıflandırılmış örnek sayısının toplam örnek sayısına oranıdır. Gerçek Pozitifler (True Positive-TP) için gözlem olumludur ve olumlu olduğu tahmin edilirken, gerçek negatifler (True Negative-TN) için gözlem olumsuz olup olumsuz olarak tahmin edilmiştir. Yanlış Pozitifler (False Positive-FP)'de ise gözlem olumsuz olmasına rağmen olumlu tahmin edilirken, yanlış negatifler (False Negative-FN) için gözlem olumlu olup olumsuz tahmin yapılmaktadır (Karcioğlu ve Bulut, 2021). Geri çağırma, kesinlik ve F1-skor değerleri bu değerler aracılığı ile hesaplanmaktadır. Geri çağırma TP'in TP+FN değerine oranıyla elde edilirken; kesinlik ise TP'in TP+FP değerine oranıdır. F1-skor ise geri çağırma ve kesinlik değerinin harmonik ortalamasıdır (Karcioğlu ve Yaşa, 2020).

4.1. Veri Seti Analizi (Analysis of Dataset)

Çalışmada TurEV-DB veri seti için birçok analiz uygulanmıştır. İlk aşamada veri setindeki ses kayıtları librosa kütüphanesi aracılığıyla okunarak özellik çıkarım işlemi gerçekleştirilmiştir. Toplam 175 tane çıkarılan özelliklere ait örnek Tablo 3'te gösterilmiştir. Tabloda görüldüğü üzere veriler sayısal değer içermektedir ve her biri sesin karakteristiklerini yansıtmaktadır.

Tablo 3. Librosa kütüphanesi ile çıkarılan bazı özellikler (Some features extracted with the Librosa library)

id	centroid_max	centroid_min	centroid_mean	centroid_std	centroid_kurtosis	centroid_skew	...	tempo
0	4469.312	685.198	2129.420	1007.268	-0.380	0.538	...	215.332
1	3612.809	546.315	1505.730	742.842	0.870	1.117	...	234.907
2	4544.681	1155.373	2848.935	1092.199	-1.436	-0.128	...	151.999
3	5716.467	707.610	2153.877	1366.089	0.395	1.143	...	234.908
4	5372.452	1204.042	3379.245	1208.404	-0.988	-0.202	...	184.570

Veri setine ait tüm özelliklere ait çıkarılan istatistikler ise Tablo 4'te verilmiştir. Her özelliğe ait miktar (count), ortalama (mean), standart sapma (std), minimum (min), maksimum (max) ve yüzdeler (25%, 50% ve 75%) istatistikler elde edilmiştir.

Tablo 4. Çıkarılan bazı özelliklerin istatistikleri (Statistics of some extracted features)

	centroid_max	centroid_min	centroid_mean	centroid_std	...	mfcc_d1_9_kurtosis	mfcc_d1_9_skew	tempo
Miktar (count)	1735	1735	1735	1735	...	1735	1735	1735
Ortalama (mean)	5142.721	570.066	2267.097	1318.238	...	-0.480	-0.060	186.601
Standart sapma (std)	1489.205	350.368	719.092	434.259	...	0.717	0.576	45.645
Minimum (min)	1173.855	0	603.804	165.848	...	-1.739	-1.903	73.828
25%	4410.100	373.520	1730.448	1039.286	...	-1.001	-0.446	151.999
50%	5051.705	552.518	2245.288	1315.450	...	-0.608	-0.061	184.570
75%	5838.0165	768.125	2774.925	1585.062	...	-0.098	0.330	215.332
Maksimum (max)	10449.296	2244.712	4459.542	2847.500	...	3.496	1.743	287.109

4.2. Yöntemler ve Modellerin Analizi (Analysis of Methods and Models)

Librosa kütüphanesi aracılığıyla çıkarılan sayısal özellikler ile Türkçe ses kayıtlarına ait duygu analizi gerçekleştirimi için makine öğrenme yöntemleri ve derin sinir ağları eğitilmiştir. Eğitim aşamasında verilerin %80'i, test aşamasında ise %20 kullanılmıştır. Eğitilen bu yöntemlere ait sistemin başarısı Tablo 5'te verilmiştir. Tablo incelendiğinde en başarılı XGB yöntemi olurken, en başarısız DVM yöntemi olmuştur. XGB'nin en başarılı

olma nedeni olarak optimize edilerek geliştirilmiş, ağaç budama yöntemiyle aşırı öğrenmeyi engelleyen bir algoritma olması belirtilebilir. Yöntemler arasında K-NN için k değeri sınıf sayısı olan 4 olarak belirlenirken, DNN yönteminde, 4 tane Dense ve 4 tane aşırı öğrenmeyi engelleyen Dropout katmanı ve softmax aktivasyon fonksiyonu kullanılmıştır.

Tablo 5. Çıkarılan özellikler ile yöntemlerin başarısı (%) (Success of methods with extracted features)

Yöntem	Geri Çağırma	F1-skor	Doğruluk
NB	60.23	60.22	60.23
K-NN	49.86	49.57	49.86
RO	83.00	82.97	83.00
DVM	39.48	34.35	39.48
LR	58.50	57.85	58.50
XGB	87.03	87.02	87.03
DNN	82.51	82.62	82.42

Tablo 5 incelendiğinde, Librosa ile çıkarılan tüm sayısal özellikler eğitilen yöntemlerde girdi olarak verilmiştir. Ses analizinde her özelliğin sisteme olumlu etkisi olmayabileceği için BFE, LVF, CS VE PCA özellik azaltım teknikleri kullanılarak, yeni bir özellik verileri elde edilmiştir. Yeni özellikler ile beraber tüm sistem, makine öğrenme yöntemleri ve DNN ile yeniden eğitilerek test edilmiştir. Bu yöntemlere ait elde edilen sonuçlar Tablo 6'da gösterilmiştir. Tablo incelendiğinde LVF özellik çıkarımı en iyi doğruluk ve F1-skor değerini vermiştir, ancak Tablo 5'e göre başarı artış göstermemiştir. Bunun nedeni olarak azaltılan özelliklerin eğitim aşamasında faydalı olduğu, silinmesinin eğitimi olumsuz etkilemesi belirtilebilir. BFE ve CS için özellik sayısı girdi olarak verildiğinden faydalı olan özellikler de silinmesi negatif etki etmiştir. LVF ve PCA için ise eşik değerine göre özellik sayısı belirlenmektedir. PCA'de ise varolan özelliklerden yeni özelliklerin çıkarım işlemi de başarıya olumsuz yansımıştır.

Tablo 6. Özellik azaltım teknikleri sonrası yöntemlerin başarısı - sırasıyla F1-skor, doğruluk (%) (Success of methods after feature reduction techniques - respectively F1-score, accuracy (%))

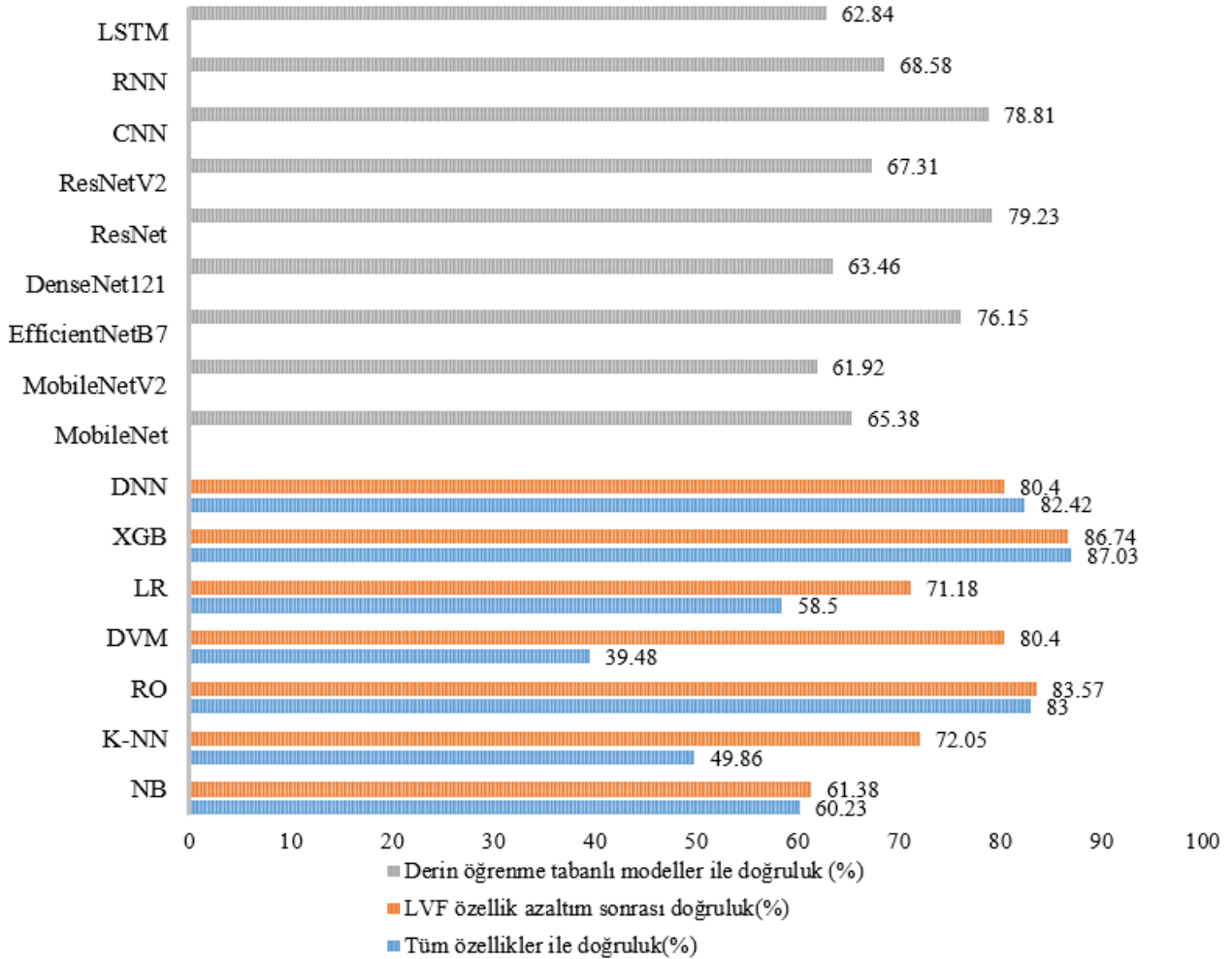
Yöntem	NB	K-NN	RO	DVM	LR	XGB	DNN
BFE (n=50)	62.25,	72.98,	82.66,	79.86,	73.20,	84.49,	81.95,
	61.38	73.20	82.71	79.83	73.20	84.44	81.84
BFE (n=100)	61.16,	69.44,	80.65,	79.60,	77.61,	85.61,	81.38,
	61.80	69.74	80.69	79.54	77.52	85.59	81.56
CS (n=50)	61.64,	71.94,	82.32,	78.22,	71.38,	81.04,	82.11,
	60.81	72.05	82.42	78.10	71.47	80.98	81.84
CS (n=100)	62.05,	76.59,	84.73,	79.83,	74.46,	84.96,	80.88,
	61.96	76.66	84.73	79.83	74.35	85.01	80.98
LVF (n=52)	55.46,	71.20,	85.24,	77.12,	64.16,	86.19,	83.15,
	55.04	71.47	85.30	77.23	64.55	86.17	83.29
LVF (n=133)	61.52,	71.99,	83.55,	80.50,	71.46,	86.78,	80.82,
	61.38	72.05	83.57	80.40	71.18	86.74	80.40
PCA (n=70)	64.72,	70.78,	71.32,	83.93,	70.75,	73.85,	75.64,
	64.27	70.89	71.76	83.86	70.61	73.78	75.50
PCA (n=107)	66.10,	69.29,	72.35,	83.93,	74.14,	71.71,	74.19,
	65.71	69.45	72.91	83.86	74.06	71.76	74.06

Analizin son aşamasında derin öğrenme tabanlı CNN, RNN, LSTM geleneksel modeller ile EfficientNet, ResNet, DenseNet, MobileNet yenilikçi modellerinin spektrogram görselleri ile eğitilmesi ve test edilmesi gerçekleştirilmiştir. Eğitim aşamasında verilerin %80'i, test aşamasında ise %20 kullanılmıştır. Modeller üzerinde Türkçe veri seti ile ince ayar (fine-tuning) aşaması uygulanarak, belirlenen öğrenme oranı (keras kütüphanesi ReduceLRonPlateau metodu ile factor = 0.5, patience = 10, mode = 'min') ve erken durdurma (keras kütüphanesi EarlyStopping metodu ile patience = 20) kriterleriyle eğitilmesi sağlanmıştır. Eğitilen modellere ait başarı Tablo 7'de verilmiştir. Tablodaki verilere göre ResNet modeli Türkçe veri seti ile diğer modellere göre daha iyi öğrenmiş ve daha başarılı bir sonuç vermiştir. DenseNet, MobileNetV2 modellerinin ise eğitimdeki kayıp (loss) değerleri fazla olduğundan ve modeller iyi öğrenme gerçekleştirmediğinden dolayı başarı düşmüştür. Burada modellerin başarısının düşük olma sebebi olarak modeller milyonlarca parametre ile eğitildiğinden, ince ayar aşamasındaki veri setinin yetersiz gelmesi söylenebilir.

Tablo 7. Derin öğrenme tabanlı modellerin başarısı (The success of deep learning-based models)

Yöntem	Kayıp	Geri Çağırma (%)	F1-skor (%)	Doğruluk (%)
MobileNet	0.93	65.40	65.37	65.38
MobileNetV2	0.98	61.96	61.38	61.92
EfficientNetB7	0.61	76.27	76.25	76.15
DenseNet121	0.96	63.23	61.00	63.46
ResNet	0.55	79.31	79.29	79.23
ResNetV2	0.76	67.48	65.88	67.31
CNN	0.24	79.00	78.20	78.81
RNN	0.74	69.00	68.40	68.58
LSTM	0.86	63.00	62.30	62.84

Her aşama için en iyi sonuçları veren yöntemlerin ve tüm derin öğrenme tabanlı modellerin doğruluk değerleri Şekil 3'te verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde Librosa kütüphanesi ile çıkarılan tüm özelliklerin kullanımı eğitim-test aşamasında en başarılı doğruluk değerini vermiştir. En başarısız ise derin öğrenme tabanlı MobileNetV2 modeli olmuştur.

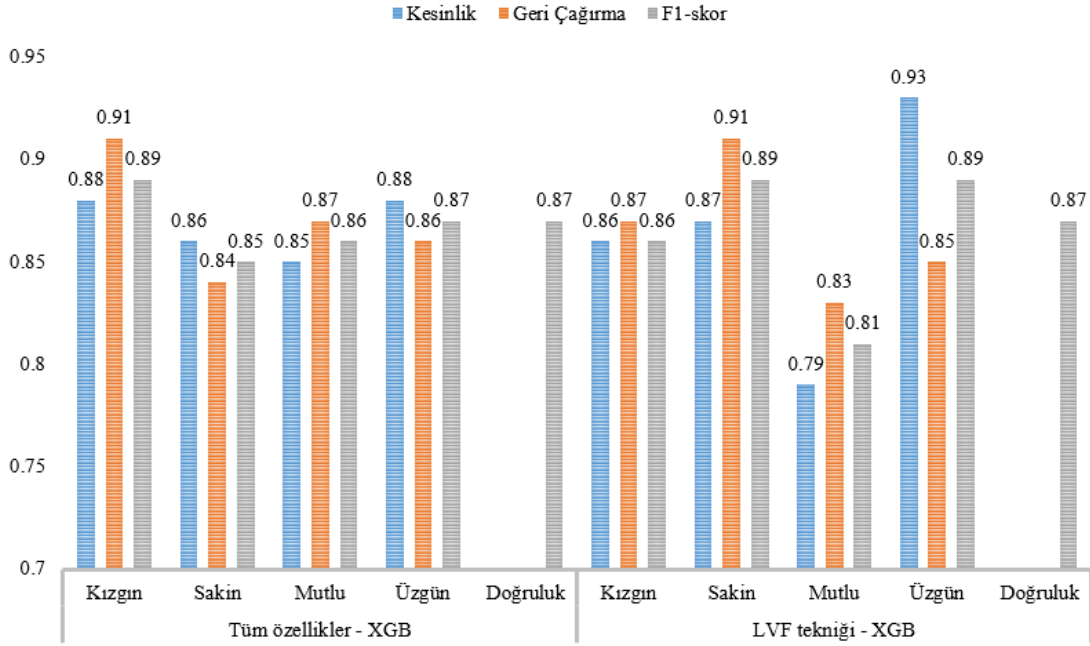


Şekil 3. En başarılı yöntemler ve derin öğrenme tabanlı modellerin doğruluk değerleri (Accuracy values of deep learning-based models and the most successful methods)

4.3. Duygu Etiketlerinin Analizi (Analysis of Emotion Labels)

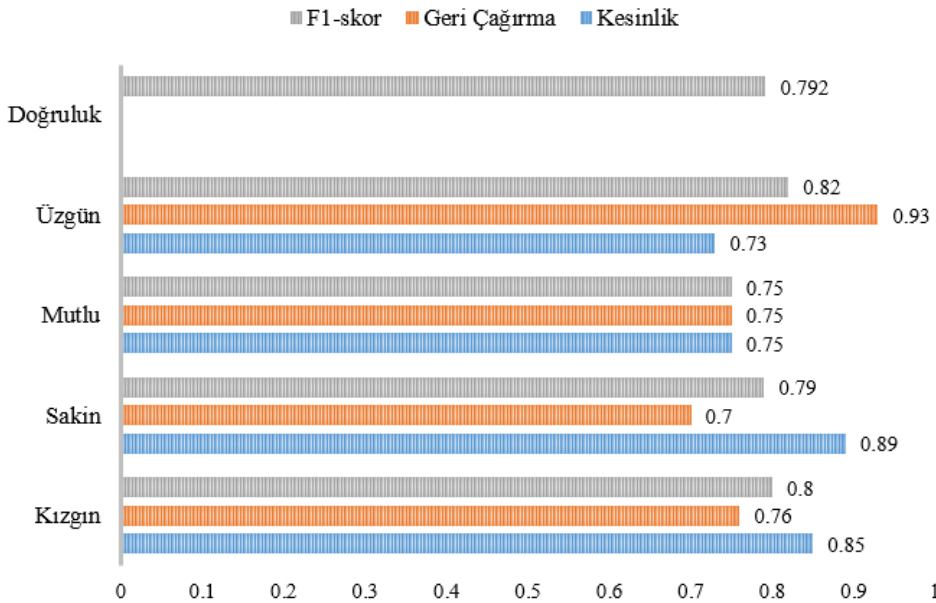
Yöntem ve modellerin başarısına göre hangi duygu etiketlerinin daha başarılı veya başarısız sınıflandırıldığı bu başlık altında analiz edilmiştir. Bu analiz için her aşamada en başarılı yöntemlerin sınıflandırma raporu elde edilmiştir. Tüm çıkarılan özellikler ile en başarılı olan XGB yöntemi ve LVF özellik azaltım teknikleri ile en başarılı yöntem XGB'nin sınıflandırma raporuna ait grafik Şekil 4'te gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde, tüm özelliklerin

kullanımı ile XGB yöntemi duygu etiketlerini dengeli bir şekilde tespit etmiştir. Ancak LVF ile özellik azaltım uygulanmasıyla XGB yönteminin duygu etiketleri analiz edildiğinde en zor tespit edilen mutlu etiketine sahip ses kayıtları olmuştur.



Şekil 4. Çıkarılan tüm özelliklerde ve özellik azaltım uygulanmasında en başarılı XGB yöntemi için sınıflandırma raporu (Classification report for the most successful XGB method in all extracted features and feature reduction implementation)

Spektrogramlar ile uygulanan derin öğrenme tabanlı modellerdeki eğitim sonucunda en başarılı olan ResNet modeline ait duygu etiketlerinin sınıflandırma raporu ise Şekil 5'te verilmiştir. Bu modelde ise mutlu duygu etiketine sahip ses kayıtları test aşamasında daha zor tespit edilmiştir.



Şekil 5. ResNet modelinin duygu etiketleri için sınıflandırma raporu (Classification report for emotion labels of the ResNet model)

5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Çalışmada Türkçe dili açısından literatüre katkı sağlamak amacıyla, Türkçe ses kayıtları üzerinde duygunun tespit edilme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bunun için makine öğrenme yöntemlerini eğitme aşamasında, Librosa kütüphanesi ile elde edilen sayısal özellikler, derin öğrenme tabanlı modelleri eğitmek için ise spektrogram görsel özelliklerinden yararlanılmıştır. Canpolat vd. (2020) uyguladığı çalışmada sadece spektrogram özellikleri

eğitimde CNN modeli kullanılırken, bu çalışmada ise sayısal karakteristik ve görsel özellikler olmak üzere iki tür özelliklerin kullanılması ile literatüre yenilik kazandırılmıştır. Ayrıca Türkçe için bu özellikler geçmişte çok az sayıda çalışmada karşılaştırılmıştır.

İlk aşamada Librosa ile elde edilen sayısal karakteristik özellikler makine öğrenme yöntemleri ve derin sinir ağları ile eğitilerek yöntemlerin başarısı ölçülmüştür. Bu analiz sonucunda XGB yöntemi ile yaklaşık %87.03'lük bir doğruluk değeri elde edilmiştir. Eğitim aşamasında çok sayıda özellik kullanılmasından dolayı, sonraki aşamada BFE, LVF, CS ve PCA özellik azaltım yöntemleri aracılığıyla azaltılan yeni özelliklerin yöntemlerdeki başarıya etkisi analiz edilmiştir. Analizler sonucunda LVF yöntemi ile özelliklerin azalması ile XGB yöntemi %86.74 doğruluk değeri elde ederken, başarıda yaklaşık %0.3'lük bir düşüş olmuştur. Bu azalışın nedeni olarak, özellik azaltım sonrası başarıya olumlu yönde etki eden özelliklerin silinmesi gösterilebilir.

Ses kayıtlarının frekans spektrumunun görsel olarak gösterildiği spektrogram özellikleri ise derin öğrenme tabanlı modellerin eğitiminde kullanılmıştır. Geleneksel derin öğrenme modelleri incelendiğinde, CNN modeli %78.58 doğruluk değeri ile RNN ve LSTM'den daha iyi sonuç elde etmiştir. Modellerin başarısı makine öğrenme yöntemleri ile karşılaştırıldığında daha düşük doğruluk değerine ulaşmıştır. Bunun nedeni olarak spektrogramların sınıflar için daha belirgin bir örüntü göstermemesi olabilir.

Normalize edilmiş spektrogramların eğitimde kullanılması sonucunda ise yenilikçi modellerden ResNet %79.23'lük en iyi doğruluk değerine ulaşmıştır. Burada modelin makine öğrenme yöntemlerine göre düşük başarı gösterme nedeni, milyonlarca parametre içeren modele, ince ayar yapılan veri setinin yetersiz kalması gösterilebilir. Veri setindeki veri sayısının az olması, modellerin eğitim sürecinde iyi öğrenememesine neden olmuş ve başarısının makine öğrenme yöntemlerine göre daha düşük olmasını sağlamıştır. Modeller arasında en başarısız olan ise MobileNetV2 olmuştur. Makine öğrenme yöntemlerinde ise veri setine bağımlı olarak eğitim gerçekleştirildiğinden, ince-ayar uygulanan derin öğrenme modellerine göre doğruluk oranı daha yüksek elde edilmiştir.

Çalışmanın sonucunda Türkçe ses kayıtları üzerinde duygu tespitinin yapılması hem makine öğrenme yöntemleri hem de derin öğrenme tabanlı modeller ile analiz edilerek karşılaştırılması sağlanmış ve literatüre katkı sağlamıştır. Gelecek çalışmalarda Türkçe müzik veri seti, şive, konuşma veri seti elde edilerek ses analizi üzerinden sınıflandırma yapılması amaçlanmaktadır. Böylece Türkçe dilinin literatürdeki çalışma sayısı artırılacaktır.

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, L., Zhu, C., Zhou, M., Liu, Y. 2019. Early diagnosis of Parkinson's disease from multiple voice recordings by simultaneous sample and feature selection. *Expert Systems with Applications*, 137, 22-28.
- Altınel, A. B. 2021. Cluds: Combining Labeled and Unlabeled Data With Logistic Regression for Social Media Analysis. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 9(4), 1048-1061.
- Alu, D. A. S. C., Zoltan, E., & Stoica, I. C. (2017). Voice based emotion recognition with convolutional neural networks for companion robots. *Science and Technology*, 20(3), 222-240.
- Anand, S., Patra, S. R. 2022. Voice and Text Based Sentiment Analysis Using Natural Language Processing. In *Cognitive Informatics and Soft Computing: Proceeding of CISC 2021*, pp. 517-529. Singapore: Springer Nature Singapore.
- Canpolat, S. F., Ormanoğlu, Z., Zeyrek, D. 2020. Turkish Emotion Voice Database (TurEV-DB). In *Proceedings of the 1st Joint Workshop on Spoken Language Technologies for Under-Resourced Languages (SLTU) and Collaboration and Computing for Under-Resourced Languages (CCURL)*, pp. 368-375.
- Çavuş, E., Sancaktar, İ. 2022. Batarya sağlık durumunun makine öğrenmesi ile kestirimi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 11(3), 601-610.
- Çelik, A. 2022. Predicting Diagnosis of Covid-19 Disease With Adaboost and Naive Bayes Machine Learning Algorithms. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 10(4), 1212-1221.
- Çevik, K. K., Kayakuş, M. 2020. Bilişim Teknolojileri Departmanında Kullanıcıların Taleplerine Cevap Verme Süresinin Makine Öğrenmesi ile Tahmin Edilmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 8(3), 728-739.
- Elbir, A., Aydın, N. 2020. Music genre classification and music recommendation by using deep learning. *Electronics Letters*, 56(12), 627-629.
- Ergenç, İ., Bekar Uzun, İ. P. 2017. *Türkçenin Ses Dizgesi* (1st ed.). Ankara: Seçkin Yayıncılık.
- Filter, L. V., Filter, P. 2014. Seven techniques for dimensionality reduction. Technical report
- Howard, A. G., Zhu, M., Chen, B., Kalenichenko, D., Wang, W., Weyand, T., Andrietto, M., Adam, H. 2017. Mobilenets: Efficient convolutional neural networks for mobile vision applications. arXiv preprint arXiv:1704.04861.

- Huang, G., Liu, Z., Van Der Maaten, L., Weinberger, K. Q. 2017. Densely connected convolutional networks. In Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition, pp. 4700-4708.
- Karcioğlu, A. A., Bulut, H. 2021. Performance Evaluation of Classification Algorithms Using Hyperparameter Optimization. In 2021 6th International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK), pp. 354-358.
- Karcioğlu, A. A., Yaşa, A. C. 2020. Automatic summary extraction in texts using genetic algorithms. In 2020 28th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), pp. 1-4.
- Kelle, A. C., Yüce, H. 2022. MQTT Trafikinde DoS Saldırılarının Makine Öğrenmesi ile Sınıflandırılması ve Modelin SHAP ile Yorumlanması. *Journal of Materials and Mechatronics: A*, 3(1), 50-62.
- Koren, L., Stipancic, T. 2021. Multimodal emotion analysis based on acoustic and linguistic features of the voice. In International Conference on Human-Computer Interaction, pp. 301-311. Cham: Springer International Publishing.
- Marques, G., Agarwal, D., De la Torre Díez, I. 2020. Automated medical diagnosis of COVID-19 through EfficientNet convolutional neural network. *Applied soft computing*, 96, 106691.
- McFee, B., Raffel, C., Liang, D. P., McVicar, M., Battenberg, E., Nieto, O. 2015. librosa: Audio and music signal analysis in python. In Proceedings of the 14th python in science conference, 8, pp. 18-25.
- Montavon, G., Samek, W., Müller, K. R. 2018. Methods for interpreting and understanding deep neural networks. *Digital signal processing*, 73, 1-15.
- Mulla, G. A., Demir, Y., Hassan, M. 2021. Combination of PCA with SMOTE oversampling for classification of high-dimensional imbalanced data. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 10(3), 858-869.
- Murwati, A. S., Aldianto, L. 2022. Exploring Voice of Customers to Chatbot for Customer Service with Sentiment Analysis. *The Asian Journal of Technology Management*, 15(2), 141-153.
- Najafian, M., Russell, M. 2020. Automatic accent identification as an analytical tool for accent robust automatic speech recognition. *Speech Communication*, 122, 44-55.
- Oflazoglu, C., Yildirim, S. Recognizing emotion from Turkish speech using acoustic features. *J AUDIO SPEECH MUSIC PROC.* 2013, 26 (2013). <https://doi.org/10.1186/1687-4722-2013-26>
- Özsönmez, D. B., Acarman, T., Parlak, İ. B. 2021. Optimal Classifier Selection in Turkish Speech Emotion Detection. 2021 29th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), pp. 1-4.
- Pelchat, N., Gelowitz, C. M. 2020. Neural network music genre classification. *Canadian Journal of Electrical and Computer Engineering*, 43(3), 170-173.
- Reddy, A. S. B., Juliet, D. S. 2019. Transfer learning with ResNet-50 for malaria cell-image classification. In 2019 International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP), pp. 0945-0949. IEEE.
- Ren, Z., Jia, J., Guo, Q., Zhang, K., Cai, L. 2014. Acoustics, content and geo-information based sentiment prediction from large-scale networked voice data. In 2014 IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME), pp. 1-4.
- Rhanoui, M., Mikram, M., Yousfi, S., Barzali, S. 2019. A CNN-BiLSTM model for document-level sentiment analysis. *Machine Learning and Knowledge Extraction*, 1(3), 832-847.
- Sağbaşı, E. A., Korukoğlu, S., BALLI, S. 2022. Mahalanobis uzaklığı tabanlı aykırı değer bulma ve ReliefF öznelik seçimine dayalı bir makine öğrenmesi yaklaşımı ile akıllı telefon verileri üzerinden stres tespiti. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 28(2), 336-345.
- Satyanarayana, G., Bhuvana, J., Balamurugan, M. 2020. Sentimental Analysis on voice using AWS Comprehend. In 2020 International Conference on Computer Communication and Informatics (ICCCI), pp. 1-4.
- Sikri, A., Singh, N. P., Dalal, S. 2023. Chi-Square Method of Feature Selection: Impact of Pre-Processing of Data. *International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering*, 11(3s), 241-248.
- Singh, A. K. 2021. Prediction of Voice Sentiment using Machine Learning Technique. In 2021 10th International Conference on System Modeling & Advancement in Research Trends (SMART), pp. 162-166.
- Tan, M., Le, Q. 2019. Efficientnet: Rethinking model scaling for convolutional neural networks. In International conference on machine learning (pp. 6105-6114). PMLR.
- Tracy, J. M., Özkanca, Y., Atkins, D. C., Ghomi, R. H. 2020. Investigating voice as a biomarker: deep phenotyping methods for early detection of Parkinson's disease. *Journal of biomedical informatics*, 104, 103362.
- Wu, Y., Li, S., Li, H. 2019. Automatic pitch accent detection using long short-term memory neural networks. In Proceedings of the 2019 International Symposium on Signal Processing Systems, pp. 41-45.
- Yılmaz, Ü., Kuvat, Ö. Investigating the Effect of Feature Selection Methods on the Success of Overall Equipment Effectiveness Prediction. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 28(2), 437-452.



COĞRAFI BİLGİ SİSTEMLERİ (CBS) ORTAMINDA ANALİTİK HİYERARŞİ YÖNTEMİ (AHY) YÖNTEMİ KULLANILARAK TAŞKIN RİSK ANALİZİ: KARABÜK İLİ ÖRNEĞİ

Cansu YURTERİ^{1*}

¹ İçişleri Bakanlığı, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
AHY, CBS, Karabük, Risk Analizi, Taşkın Duyarlılık Haritası.	Taşkınlar ani atmosferik anomalileri neticesinde kısa sürede büyük felaketlere dönüşebilen, ciddi mal ve can kayıplarına neden olan doğal afetlerdir. Dünyada meteorolojik bir afet türü olan taşkınların yönetim planlamasının taşkın duyarlılık haritaları temel alınarak yürütülmesine oldukça önem verilmektedir. Sunulan çalışmanın amacı Karabük ilinde taşkınların gerçekleşmesine neden olan faktörlerin belirlenerek taşkın tehlikesi olan alanları tespit etmek ve bölgenin taşkın duyarlılık haritasını oluşturmaktır. Bu kapsamda Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHY) kullanılarak Karabük ili için taşkın duyarlılık haritası üretilmiştir. Taşkın duyarlılık analizinde yağış, akarsuya mesafe, eğim, baki, jeoloji ve arazi kullanım/arazi örtüsü parametreleri kullanılmıştır. Seçilen parametreler AHY ile analiz edilmiştir. Yapılan hesaplamalara göre yaklaşık 4048.9 km ² yüzey alanına sahip Karabük ilinin güney, güneybatı ve kuzeybatı kesimlerinin %6.89 oranında çok yüksek ve yüksek riskli alanlar olduğu, olası bir taşkın afetine oldukça duyarlı olduğu belirlenmiştir. Söz konusu çalışma Karabük ili için taşkın risk planlamasına yönelik kılavuz bir araştırma olup bölge için afet riskinin azaltılmasına yönelik öneriler sunulmuştur.

FLOOD RISK ANALYSIS USING ANALYTIC HIERARCHY PROCESS (AHP) METHOD IN GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS (GIS) ENVIRONMENT: THE CASE STUDY OF KARABUK PROVINCE

Keywords	Abstract
AHP, GIS, Karabuk, Risk Analysis, Flood Susceptibility Map.	Floods are natural disasters that cause serious loss of life and property and can turn into major catastrophe in a short time as a result of sudden atmospheric anomalies. A great importance is attached to the management planning of floods, which is a type of meteorological disaster in the world, based on flood risk maps. The objective of this present study is to define the flood hazard areas in Karabuk province by determining the factors that cause floods and to establish a flood susceptibility map of the region. In this regard, a flood susceptibility map was produced for Karabuk province using the Analytic Hierarchy Process (AHP) method. Rainfall, distance to the river, slope, aspect, geology and land use/land cover parameters were used in the flood susceptibility analysis. It has been determined according to the calculations made that the southern, southwestern and northwestern parts of Karabuk province, which has a surface area of approximately 4048.9 km ² , are very high and high risk areas with a rate of 6.89% and are highly susceptible to a possible flood disaster. This study is a guideline study for flood risk planning for Karabuk province and recommendations are presented for disaster risk reduction for the region.

Alıntı / Cite

Yurteri, C., (2024). Coğrafi Bilgi Sistemleri (Cbs) Ortamında Analitik Hiyerarşi Yöntemi (Ahy) Yöntemi Kullanılarak Taşkın Risk Analizi: Karabük İli Örneği, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 12(2), 298-318.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

C. Yurteri, 0000-0002-4944-0168

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	17.02.2024
Revizyon Tarihi / Revision Date	17.03.2024
Kabul Tarihi / Accepted Date	24.03.2024
Yayın Tarihi / Published Date	30.06.2024

*İlgili yazar/Corresponding author: cansu.yurteri@yahoo.com, +90-312-258-2687

FLOOD RISK ANALYSIS USING ANALYTIC HIERARCHY PROCESS (AHP) METHOD IN GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS (GIS) ENVIRONMENT: THE CASE STUDY OF KARABUK PROVINCE

Cansu YURTERİ[†]

İçişleri Bakanlığı, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara, Türkiye

Highlights

- The flood susceptibility map was developed by using GIS and AHP identifies flood risk areas for Karabuk province
- A high and very high risk of flooding covers 6.89 % of the Karabuk province
- Rainfall, distance to river and slope are significant factors influencing flood risk in Karabuk province.
- GIS based flood susceptibility map provided significant information for effective flood risk management and sustainable development.

Purpose and Scope

The main objective is developing flood susceptibility map by using GIS and AHP techniques to determine flood prone areas in the Karabuk province.

Design/methodology/approach

Karabuk province's precipitation, land use, distance to river, geology, slope and aspect criteria were selected to create a flood risk map. Analytic Hierarchy Process (AHP), which is one of the Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) methods, was used to reveal the impact of the criteria on flood risk. Weight values of the criteria causing flooding have been calculated. Areas with flood risk have been identified and mapped in GIS environment as a result of the analysis.

Findings

Flood susceptibility map of Karabuk province was created by using AHP method, one of the MCDA methods. In the study in which rainfall, distance to river, slope, land cover/land use, aspect and geology factors were used. Distance to river, rainfall and slope have been determined as the most important factors respectively. As a result, the resulting flood susceptibility map revealed that 0.75% of Karabuk province has very high flood risk, 6.75% has high flood risk, 27.99% has medium flood risk, 41.23% has low flood risk, and 23.89% of Karabuk province has no risk areas.

Research limitations/implications

It is considered that different morphometric features (bifurcation rate, drainage texture, drainage density, topographic moisture index, etc.) can be included in the analysis, as well as remote sensing technologies can be included in the process to improve mapping, in addition to the factor layers primarily evaluated within the scope of flood risk analysis related to the development of the study presented. Hydrodynamic situation should be handled depending on different recurrence flows by using various one or two dimensional mathematical hydrological model programs (Hec-Ras etc.), the flood risk of the area should be calculated, the results obtained should be compared with other methods and it is thought that flood sensitivity analysis can be performed.

Practical implications

All these datas provided significant information for effective flood risk management and sustainable development in the research area.

Social Implications

Mapping of flood-risk areas for the research area has created an opportunity to reduce the vulnerability of the people in that region in the event of a possible disaster, to make designs resistant to destructive forces, and to create measures and precautions to reduce losses.

Originality

In the literature, no detailed flood risk mapping study using AHP technique in GIS environment is available for Karabuk province. This situation indicates that the presented study can be a unique and guiding study that will form the basis for flood risk management planning. The present study has the quality of a guiding determination study with data that will form the basis as a methodology for similar flood risk mitigation and planning studies to be carried out in various provinces and basins of our country.

[†] Corresponding author: cansu.yurteri@yahoo.com, +90-312-258-2687

1. Giriş (Introduction)

Meteorolojik bir afet türü olan taşkınlar su kütlesinin arttığı ve akarsu seviyesinin yükselerek değişik nedenlerle yatağından taşarak yerleşim yerlerine, tarım arazilerine, ekosisteme, insanlara zarar vermesi olarak tanımlanmaktadır (SYGM, 2019). Taşkınlar etkilediği bölgenin ekonomik faaliyetlerini kesintiye uğratacak şekilde can, mal ve ekonomik kayıplara neden olmaktadır (AFAD, 2022; CRED, 2018). Her yıl Dünya’da 170 milyon insanı etkileyen sel ve taşkınlar günümüzde depremlerden sonra en çok yaşanan afet türüdür (AFAD, 2019).

Taşkınlar kendi aralarında; kar erimesinin neden olduğu taşkınlar, şehir taşkını, ani taşkın, kıyı taşkınları, buz ve moloz hareketlerinin neden olduğu taşkınlar şeklinde sınıflandırılmaktadır (MGM, 2022). Bununla birlikte taşkınlar, yılın en fazla ilkbahar ve sonbahar dönemlerinde havanın ısınmasıyla birlikte ani yağışlar veya kar erimeleri şeklinde gerçekleşmektedir (MGM, 2022).

Günümüzde iklimsel değişimler ve insan müdahaleleri nedeniyle meteorolojik afetlerin yaşanma sıklığı ve şiddeti gittikçe artmaktadır (CRED, 2018). Artan nüfus, dere yataklarındaki yapılaşmalar, bitki örtüsünün tahrip edilmesi, hatalı arazi kullanım faaliyetleri, plansız kentleşme ile geçirimli yüzeylerin yapay yüzeylere dönüştürülmesi meteorolojik bir afet türü olan taşkınları felaket boyutuna taşımaktadırlar (Sharir vd., 2022). Her bölge özelinde değişebilen bu riskler taşkın yönetim planlamasının önemle ele alınması gerekliliğini doğurmaktadır.

Ülkemizde afet yönetimine hazırlık açısından illerde ve akarsu havzalarında taşkın risk haritalarının oluşturulması oldukça önemlidir. Dünyada ve ülkemizde taşkın risk haritalama çalışmalarında Çoklu Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinden olan AHY ile Coğrafi Bilgi Sistemlerinden (CBS) yaygın bir şekilde yararlanılmaktadır (Aydın ve Birincioğlu, 2022; Seejata vd., 2018; Tokgözlü ve Özkan, 2018; Danumah vd., 2016). Günümüzde gerek AHY’nin esnek ve sağlam bir yaklaşım olması, gerekse CBS’nin hassas haritalama tekniği ile geniş alanlara kolaylıkla uygulanabiliyor olması taşkın risk azaltma ve planlama süreçlerinde kolaylıklar sağlamaktadır.

Sunulan çalışmada Karabük ilinde CBS ortamında ArcGIS 10.8 programının farklı modülleri kullanılarak ağırlıklı toplam analiz (weighted sum analysis) yöntemi ile taşkın risk taşıyan alanlar haritalanmıştır. Bu kapsamda CBS ortamında taşkın risk haritalaması araştırmalarında yaygın bir şekilde kullanılan parametrelerden akarsuya mesafe, yağış, eğim, baki, jeoloji ve arazi kullanım/arazi örtüsü parametrelerini içeren veri setleri kullanılmıştır. Seçilen parametreler Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinden AHY tekniği kullanılarak değerlendirilmiştir. Gerçekleştirilen analiz kapsamında seçilen kriter değişkenler ağırlıklandırılarak CBS ortamına aktarılmıştır. CBS ortamında oluşturulan raster veri halindeki kriter katmanların üst üste bindirme analizi gerçekleştirilerek Karabük ili için taşkın risk haritası türetilmiştir.

2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Son yıllarda taşkın tehlikesinin etkili bir şekilde modellenmesi, değerlendirilmesi ve yönetimi için yapay sinir ağı, bulanık mantık ve AHY gibi çeşitli teknikler uzaktan algılama ve CBS teknikleri ile birleştirilerek yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu kapsamda literatürde CBS ve Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHY) kullanılarak taşkın risk taşıyan bölgelerin haritalanmasına yönelik yapılmış çok sayıda çalışma mevcuttur (Selvam ve Anthony, 2023; Sharir vd., 2022, Oğuz vd., 2022, Aydın ve Birincioğlu, 2022; Seejata vd., 2018; Tokgözlü ve Özkan, 2018; Danumah vd., 2016). Gerçekleştirilen araştırmalar AHY ile entegreli CBS teknolojisinin farklı çalışma alanları üzerine uygulamalarını içermektedir (Chakraborty vd., 2019; Das, 2018; Rahmati vd., 2016). AHY’nin bölgesel ve yerel ölçekli çalışmalarda taşkın risklerini yüksek doğrulukla değerlendirmek ve analiz etmek için etkin bir şekilde uygulanabilen ve pratik bir teknik olduğu görülmüştür (Swain vd., 2020; Souissi vd., 2020). Bununla birlikte CBS ortamında AHY kullanılarak yapılan analiz ve haritalama çalışmalarının, taşkın risk yönetiminin ayrılmaz bir parçası olduğu tespit edilmiştir (Dutta vd., 2023; Dung vd., 2020; Danumah vd., 2016).

Yapılan araştırmalarda taşkın risk analizinin değerlendirilmesinde arazi kullanımı, drenaj yoğunluğu, topografik nemlilik indeksi, akarsudan uzaklık, akarsu uzunluğu, eğim, yükselti, baki ve yağış parametrelerinin yaygın bir şekilde kullanıldığı görülmektedir (Selvam ve Anthony, 2023; Sharir vd., 2022; Oğuz vd., 2022, Aydın ve Birincioğlu, 2022; Seejata vd., 2018). Bununla birlikte, taşkın duyarlılık analizinde kullanılan kriterlerin bölgeden bölgeye değişiklik gösterebileceği belirlenmiştir (Selvam ve Anthony, 2023; Sharir vd., 2022, Chakraborty vd., 2019; Das, 2018; Rahmati vd., 2016).

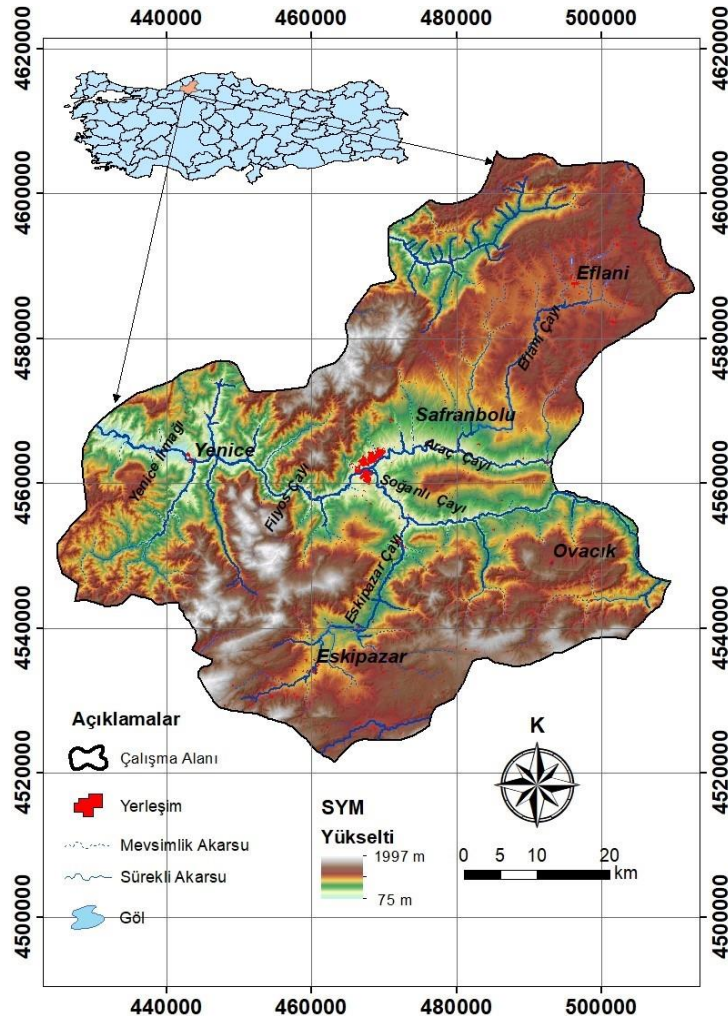
Çalışma alanı için yapılan bilimsel yazın taramasında Batı Karadeniz Bölgesi’ndeki il merkezlerinde veya akarsu havzalarında gerçekleştirilen çeşitli taşkın modelleme çalışmaları mevcuttur (Mızraklı, 2023; SYGM, 2019; Ortaç, 2019). Bununla birlikte Karabük ili özelinde AHY tekniği kullanılarak CBS ortamında yapılmış herhangi bir taşkın risk haritalama çalışması mevcut değildir. Bu durum sunulan çalışmanın Karabük ili taşkın risk yönetim planlamalarına altlık oluşturacak özgün ve kılavuz bir çalışma olabileceğini göstermektedir. Sunulan çalışma ile

Karabük ili merkez ve tüm ilçeleri için CBS ortamında AHY kullanılarak taşkına duyarlı bölgeler analiz edilmiş ve haritalanarak ilin taşkın risk haritası oluşturulmuştur. Ayrıca il genelinde olası bir afet durumunda taşkın zararlarının önlenmesi ve azaltılması amacıyla çeşitli önlem ve öneriler sunulmuştur.

3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

3.1. Çalışma Alanı (Study Area)

Araştırma kapsamında çalışma alanı olarak 4048.9 km² yüz ölçümüne sahip olan Karabük ili seçilmiştir. Çalışma alanı olarak belirlenen il sınırı 40° 56' ve 41° 33' kuzey enlemleri ile 32° 03' ve 33° 05' doğu boylamları arasında yer almaktadır. Rakımın 278 m olduğu yükseltinin 75 m ile 2000 m arasında değiştiği ilde ortalama yükselti 913 m'dir. İlin kuzeydoğusundaki ve doğusundaki bölgelerde yükselti 1450 m ile 2000 m arasında değişmektedir. Önemli yükseltiler Kel Tepe (1999 m), Uzunhüseyinkıran Tepe (1756 m), Köstek Tepe (1471 m), Çaldağ Tepe (1650 m) ve Keçikıran Tepe (1400 m)'dir. İldeki önemli yerleşim yerleri Eflani, Ovacık, Eskipazar, Safranbolu ve Yenice'dir. Karabük İl Çevre Durum Raporu (2022) verilerine göre ilin önemli akarsuları Yenice Irmağı ile Filyos Çayı, Araç Çayı, Soğanlı Çayı ve Eskipazar Çaylarıdır. Doğu batı yönünde akış gösteren Filyos Çayı ilin kuzeydoğusundan Karadeniz'e dökülmektedir (Şekil 1). İl kuzeyinde Bartın'a, batısında Zonguldak, güneybatısında Bolu, güneydoğusunda Çankırı, doğusunda Kastamonu illerine komşudur (HGM, 2023). Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre 2023 yılı il nüfusu 252.058'dir (TÜİK, 2023). Batı Karadeniz Bölgesindeki yer alan Karabük ili Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) verilerine göre uzun yıllar (1965-2022) ortalama sıcaklık ve yağış verileri sırasıyla 13.6° C ve 487.5 mm/yıl'dır (MGM, 2023). İlin coğrafi konumu nedeniyle kıydan iç kesimlerde kalması nedeniyle Karadeniz ikliminin özellikleri çok baskın olmayıp, karasal iklimin özellikleri hakimdir. Araştırmaya konu olan Karabük ilinde gelişmiş bir akarsu ağı mevcut olup ilin önemli akarsularından olan Yenice Irmağı ve kollarının sel ve taşkın olaylarına maruz kalması çalışma alanının seçilmesinde etkili olmuştur. Özellikle geçmişte ilin çeşitli ilçelerinde bu sürecin yaşanmış olması gelecekte de taşkın riskinin olabileceği olasılığını güçlendirmektedir.



Şekil 1. Karabük İli Yer Bulduru Haritası (Location Map of the Karabük Province)

3.2. Materyal (Material)

Güncel araştırmalar incelendiğinde taşkın risk analizlerinde yaygın bir şekilde yükselti, yağış, eğim, akarsuya olan mesafe, jeoloji, toprak, arazi kullanımı vb. parametrelerin kullanıldığı görülmüştür (Chakraborty ve Mukhopadhyay, 2019; Hagos vd., 2022; Hammami vd., 2019; Seejata vd., 2018; Ghosh ve Kar, 2018).

Seçilen bu parametrelerin önem derecelerinin çalışma alanının topografik, morfolojik ve hidrolojik özelliklerine göre değişebildiği görülmüştür. Dolayısıyla taşkın risk analizi sürecinin doğru uygulanabilmesi için alanı etkileyen parametrelerin doğru belirlenmesi gerekmektedir. Bu kapsamda çalışma alanı için taşkın risk analizi AHY ile CBS ortamında gerçekleştirilmiş olup analiz için 6 kriter (eğim, yağış, akarsuya mesafe, arazi kullanım/arazi örtüsü, bakı, jeoloji) kullanılmıştır. Sunulan araştırmada kullanılan tüm parametreler kurum ve kuruluşların açık erişimli ücretsiz veri tabanlarından elde edilmiştir (USGS, 2023; Copernicus, 2023; Geofabrik, 2023; MGM, 2023; HGM, 2023). Yapılan analizlerde tüm katmanlar için ortak projeksiyon sistemi olarak TUREF TM 33 kullanılmıştır.

İnceleme alanı sınırını temsil eden Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) verisi NASA'nın Earth Explorer tarayıcısı yardımıyla indirilmiştir (USGS, 2023). SYM olarak 30 m çözünürlüğe sahip SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) 1-Arc Second Global veri seti analizlerde altlık olarak kullanılmıştır.

Çalışma alanında kullanılan arazi kullanım parametresini temsil eden arazi kullanım/arazi örtüsü verileri Avrupa Çevre Ajansı tarafından geliştirilen Kopernik Arazi İzleme Servisi portalındaki CORINE veri tabanı kullanılarak indirilmiştir (Copernicus, 2023). İndirilen CORINE verileri 2018 yılına ait veriler olup, kullanılan veri seti çalışma alanını temsil edecek şekilde tekrar düzenlenerek arazi kullanım katmanı oluşturulmuştur.

Karabük ilinin yer aldığı 1/100.000 ölçekli jeoloji haritaları ise Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü'nden (MTA) temin edilmiş olup ilgili paftalar taranarak CBS ortamına aktarılmış, birleştirilmiş ve sayısallaştırma işlemi yapılarak çalışma alanı için jeoloji katmanı oluşturulmuştur. Sunulan çalışmada kullanılan tüm veriler ve ayrıntılı açıklamaları Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Taşkın Risk Analizinde Kullanılan Parametreler, Oluşturulan Veri Tabanı ve Veri Setlerinin Erişildiği Kaynak Dosyaları (Parameters Used in Flood Risk Analysis, Database Created and Source Files Accessed by Data Sets)

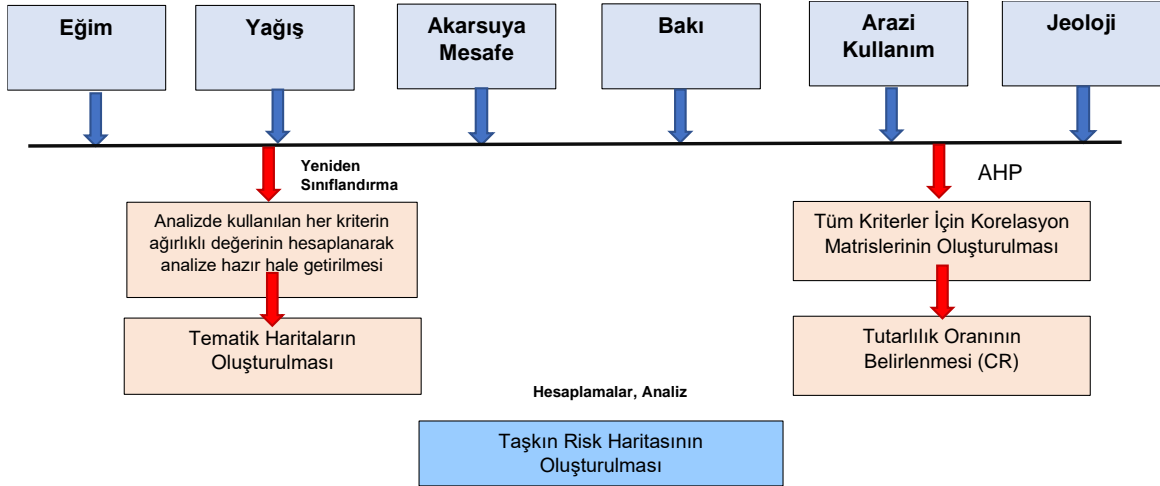
ANALİZDE KULLANILAN PARAMETRELER	KULLANILAN/TÜRETİLEN VERİ SETİ- OLUŞTURULAN VERİ TABANI	VERİ SETİ ERİŞİMİ / KAYNAK DOSYASI
Sayısal Yükseklik Modeli	Sayısal Yükseklik Modeli-30 m çözünürlüklü -CBS (ArcGIS 10.8)	SRTM 1 Arc Second Global Data (https://earthexplorer.usgs.gov/)
Eğim	Sayısal Yükseklik Modeli-CBS (ArcGIS 10.8)	SRTM 1 Arc Second Global Data (https://earthexplorer.usgs.gov/)
Bakı	Sayısal Yükseklik Modeli-CBS (ArcGIS 10.8)	SRTM 1 Arc Second Global Data (https://earthexplorer.usgs.gov/)
Yağış	Sayısal Yükselti Modeli, MGİ Verileri-CBS (ArcGIS 10.8)	SRTM 1 Arc Second Global Data (https://earthexplorer.usgs.gov/) Meteoroloji Genel Müdürlüğü (https://www.mgm.gov.tr/)
Akarsuya Mesafe	Sayısal Yükselti Modeli-CBS (ArcGIS 10.8)	SRTM 1 Arc Second Global Data (https://earthexplorer.usgs.gov/) Open Street Map vektör verileri (https://download.geofabrik.de/)
Arazi Kullanımı	Copernicus Land Monitoring Service-CBS (ArcGIS 10.8)	CORINE Land Cover 2018 (https://land.copernicus.eu/en/products/corine-land-cover)
Jeoloji	1/100.000 Ölçekli Jeoloji Paftaları (E29,E30,F28,F29,F30,G28,G29,G30)-CBS (ArcGIS 10.8)	Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (https://www.mta.gov.tr/v3.0/hizmetler/jeoloji-haritalari)

3.3. Çalışmada Kullanılan Verilerin Değerlendirme Yöntemleri (Evaluation Methods of the Data Used in the Study)

Karabük ili için ÇKKV yöntemlerinden olan AHY kullanılmıştır. Yapılan araştırmada çalışma alanının topografik, hidrolojik ve meteorolojik durumu göz önüne alınarak eğim, akarsuya mesafe, yağış, bakı, arazi kullanımı/arazi örtüsü ve jeoloji parametreleri kullanılmıştır. Seçilen her bir kriter için korelasyon matrisleri kullanılarak kriterlerin birbirlerine göre önem dereceleri belirlenmiş, ağırlıklı AHY değerleri hesaplanmıştır. AHY analizinden

elde edilen değerler ArcGIS 10.8 programı kullanılarak her bir katman için oluşturulan öznel tablosuna aktarılmıştır.

Çalışma kapsamında taşkın risk analizinde kullanılan tüm parametreler vektör formdan raster forma dönüştürülerek katmanlar halinde kullanılmıştır. Sonrasında ArcGIS arayüzünün çeşitli modülleri kullanılarak her bir parametreyi temsil eden katmanlar üst üste bindirilerek Karabük ili için CBS ortamında taşkın duyarlılık haritası ortaya çıkarılmıştır.



Şekil 2. Çalışmada Kullanılan Yönteme İlişkin Akış Şeması (Flow Chart of the Method Used in the Study)

3.4. Analitik Hiyerarşi Yöntemi (Analytic Hierarchy Process)

Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHY) yaygın olarak kullanılan ÇKKV yöntemlerinden biri olup 1968 yılında Myers ve Alpet, 1980 yılında ise Saaty tarafından geliştirilen bir yöntemdir (Myers ve Alpet, 1968; Saaty, 1980). AHY'nde, karmaşık problemler hiyerarşik bir yapı içinde ele alınarak, nicel ve nitel ölçütler altında değerlendirilmektedir. AHY'nde birden fazla ölçüt kullanılabilir olup yöntemin kolay uygulanabilir olması heyelan duraylılık, taşkın duraylılık, mekansal planlama ve orman yangınlarına yönelik analiz çalışmalarında sıklıkla tercih edilmektedir.

AHY'nde sırasıyla belirli aşamalar takip edilmektedir. İlk olarak problem tanımlaması yapılarak olası alternatifler belirlenir ve problemin hiyerarşik olarak yapılandırılması gerçekleştirilir. Buradaki temel hedef karar verme problemini alt ölçütlere ayırmak ve alt ölçütlerin birbirleriyle ilişkilerini belirlenmesine yönelik bir model oluşturmaktır. İkinci aşama olarak seçilen ölçütlerin birbirleriyle karşılaştırılmaları literatürdeki uzman görüşlerden faydalanılarak yapılır ve korelasyon matrisleri oluşturulur. Değerlendirilen her bir ölçüt arasında ikili karşılaştırma yapılırken uzman görüşlerden de yararlanılarak Tablo 2'deki gibi 1 ile 9 arasında puanlanma yapılır (Saaty, 1990).

Tablo 2. Saaty (1990) tarafından önerilen sayısal ölçeklendirme ((Numerical Scaling Proposed by Saaty (1990))

ÖNEM DERESESİNE GÖRE KRİTER PUAN	ÖNEM DERESESİNİ TANIMLAMA	İLGİLİ KRİTER PUANIN AÇIKLAMASI
1	Eşit derecede öneme sahip	İki kriterinde eşit derecede önemi vardır.
3	Orta derecede öneme sahip	Bir kriter diğer kritere göre biraz daha fazla öneme sahiptir.
5	Oldukça öneme sahip	Bir kriter diğer kritere göre kuvvetli derecede öneme sahiptir.
7	Oldukça güçlü öneme sahip	Bir kriter diğer kritere göre çok kuvvetli derecede öneme sahiptir.
9	Aşırı öneme sahip	Bir kriter diğer kritere göre aşırı derecede öneme sahiptir.
2, 4, 6, 8		Ara kriter değerleri

Üçüncü aşama olarak oluşturulan korelasyon matrisindeki ölçütlerin önem ağırlıklarını belirlemek amacıyla matrisdeki her bir hücre normalize edilir. Normalizasyon işlemi matris sütunlarındaki değerler toplanır ve sütun toplamları elde edilir. Elde edilen sütun toplamları aynı sütunda yer alan matris elemanlarına bölünür ve değerlerin normalize edildiği yeni bir matris oluşturulur.

Normalize edilmiş matrise göre her sütunun toplamı 1'e eşittir. Oluşturulan normalize matrisin satır değerleri toplanarak matris boyutuna bölünür, aritmetik ortalama alınır ve her bir kriter için önem ağırlıklarını gösteren özvektör (w) hesaplanır (Eşitlik 1). Bu sayede ölçütlerin kendi aralarında önem derecelerini gösteren yüzde dağılımları elde edilir (Saaty, 1990). Eşitlikte yer alan parametrelerden W_i : özvektör, n :karşılaştırılan kriter sayısı, a_{ij} : i . özellik ile j . özelliğin ikili matrisde karşılaştırma değeridir.

$$W_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{a_{ij}}{\sum_{j=1}^n a_{ij}} \quad (1)$$

Korelasyon matrislerinin oluşturulması ve özvektörün belirlenmesinin ardından dördüncü aşama olarak karşılaştırma matrislerinin tutarlılığı belirlenir. Bu amaçla Tutarlılık İndeksi (CI) adı verilen bir parametre hesaplanır. Bu hesaplama için öncelikle λ max değeri belirlenir. λ max değeri en büyük özdeğer olup, korelasyon matrisindeki özvektör (w) ile matris çarpımından (A) elde edilen bir değerdir (Eşitlik 2). Özdeğerlerin, özvektörlere oranlarının toplamının aritmetik ortalaması ile en büyük özdeğer (λ_{max}) hesaplanır (Saaty, 1990).

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{w_i} \quad (2)$$

λ_{max} hesaplanması sonrasında tutarlılık indeksi (CI) değeri aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanır (Eşitlik 3).

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (3)$$

Eşitlikte yer alan parametrelerden CI: Tutarlılık İndeksi, λ max: Matrisin en büyük özdeğeri ve n : karşılaştırılan kriter sayısıdır.

Beşinci aşama olarak Tutarlılık İndeksi (CI) hesaplandıktan sonra ikili karşılaştırmaların tutarlılık oranları hesaplanır. CI değerinin Rastgele Değer İndeksi (RI)'ne oranlanmasıyla korelasyon matrisinin Tutarlılık Oranı (CR) hesaplanır (Eşitlik 4). RI değeri analizde kullanılan kriter sayısına göre hesaplanmış değerlere karşılık gelmektedir. Saaty (1990) tarafından önerilen RI değerleri Tablo 3'te sunulmuş olup analize dahil edilen kriter sayısına (n) göre CR değeri hesaplanmaktadır.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (4)$$

Tablo 3. Korelasyon matrisindeki ölçüt sayısına göre Rastgele Değer İndeksi (RI) değerleri (Saaty, 1980) ((Random Value Index (RI) Values According to the Number of Criteria in the Correlation Matrix (Saaty, 1980))

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.53	1.56	1.57	1.59

Oluşturulan korelasyon matrisinin tutarlılık oranının (CR) 0.10'dan az olması matrise atanan değerlerin uygun olduğunu ve tutarlılığın yüksek olduğunu göstermektedir (Saaty, 1990). CR'nin 0.10'dan büyük olması durumunda korelasyon matrisine girilen değerler tekrar gözden geçirilerek analiz tekrar yapılmalıdır (Saaty, 1990).

4. Araştırma Bulguları (Research Findings)

4. AHY Kullanılarak Karabük İli için Taşkına Duyarlı Bölgelerin Haritalanmasında Kullanılan Kriterler (Criteria Used in Mapping Flood Susceptible Areas for Karabük Province Using AHP Method)

Çalışma alanında taşkına etki eden temel parametreler yağış, eğim, akarsuya mesafe, bakı, jeoloji ve arazi kullanımı/arazi örtüsü olarak belirlenmiştir. Bu parametrelerin kendi aralarında önem dereceleri belirlenmiş olup, çalışma alanı ve yakın çevresinde geçmişte yaşanmış taşkın envanteri incelenmiş olup, literatürdeki araştırmalar dikkate alınmıştır.

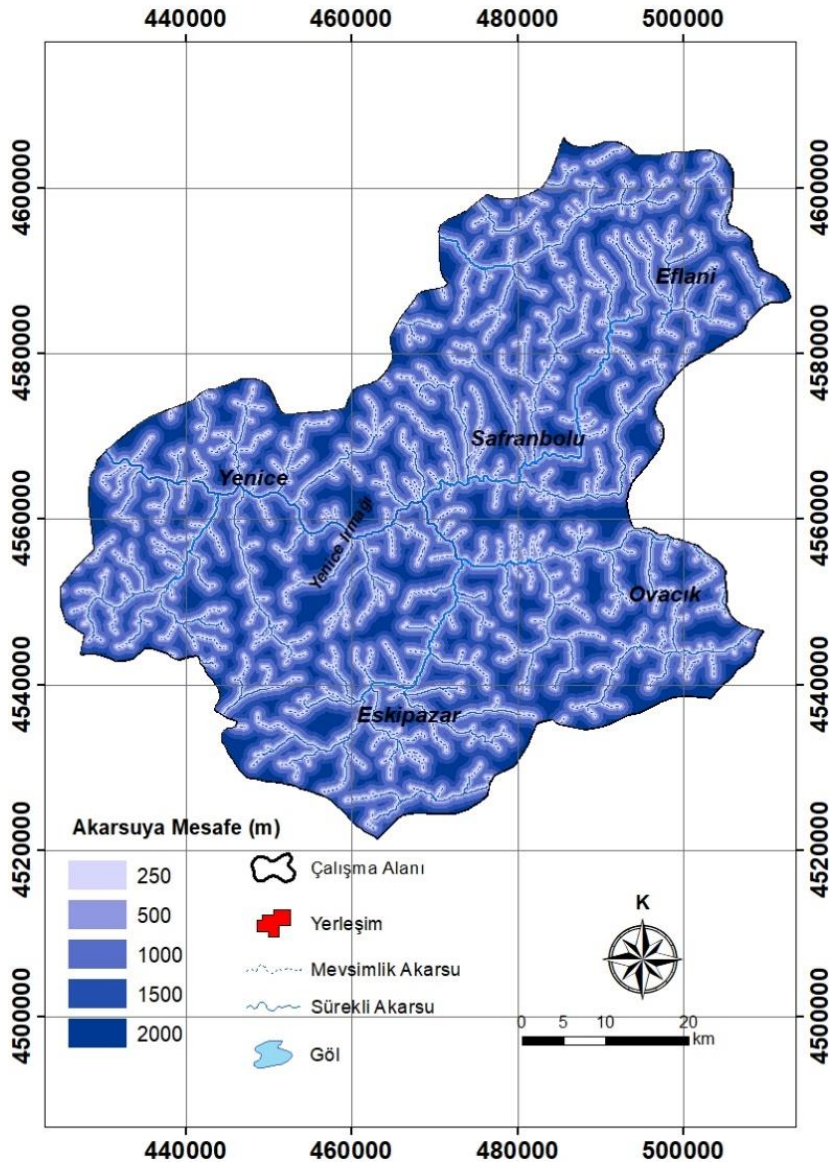
Seçilen parametrelerin önem sıralaması AHY tekniği kullanılarak belirlenmiştir. Karabük ili için AHY'nde elde edilen katmanlar ağırlık değerlerine göre sırasıyla akarsuya mesafe, yağış, eğim, arazi kullanım/arazi örtüsü, jeoloji ve bakı olarak tespit edilmiştir. İlgili kriterlerin değerlendirilmesine yönelik bulgular aşağıda sırasıyla sunulmuştur.

4.1.1. Akarsuya Mesafe (Distance to River)

Akarsuya mesafe faktörü akarsu ağlarının yakınında bulunan bölgelerin şiddetli yağışlar sırasında nehirlerin taşmasıyla sular altında kalma olasılığının yüksek olması nedeniyle taşkın risk analizlerinde oldukça yaygın kullanılan, önemli bir parametredir (Dutta vd., 2023).

Çalışma alanındaki akarsu ağı ArcGIS 10.8 programının hidroloji modülü aracılığıyla SYM verisi kullanılarak oluşturulmuştur. Çalışma alanının akarsu ağı haritası ArcGIS arayüzündeki ArcHydro modülünün çeşitli araçları (Stream to Feature, Stream to Order, Fill, Flow Direction, Flow Accumulation) kullanılarak belirlenmiştir. Sonrasında Open Street Map portalından vektör veri olarak indirilen akarsu verileri ArcGIS arayüzünde SYM kullanılarak ArcHydro modülü ile oluşturulan akarsu ağları karşılaştırılmıştır (Geofabrik, 2023).

Söz konusu vektör verilerde çakışan veya düzenlenmesi gereken akarsular tekrar düzenlenerek topoğrafyayla uyumlu daha iyi bir akarsu ağı haritası elde edilerek analize hazır hale getirilmiştir. Çalışma alanı için hazırlanmış akarsu ağı kullanılarak 250, 500, 1000, 1500 ve 2000 m olacak şekilde akarsuya mesafe zonları oluşturulmuştur. Oluşturulan tampon bölgeler kullanılarak akarsuya mesafe haritası düzenlenmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Karabük İli Akarsu Ağı ve Akarsuya olan Mesafe Zonları (Karabuk Province Stream Network and Distance Zones to Rivers)

Akarsuya mesafe haritası ArcGIS 10.8 programının Proximity komutunun Multiple Bufferzone aracı kullanılarak oluşturulmuştur (Şekil 3). Yapılan analizde akarsuya en yakın mesafeler en riskli alanlar olarak belirlenirken, akarsuya olan uzaklık arttıkça taşkın riskinin azalacağı şeklinde değerlendirmeler gerçekleştirilmiştir.

Buna göre akarsuya mesafesi en yakın (250 m) bölgeler %21.19 oranında, görece daha yakın olan (500 m) bölgeler %19.15 oranında, 1000 m mesafede olan bölgeler %32.51 oranında, 1500 m mesafede olan bölgeler %19.26 oranında, 2000 m mesafede olan bölgeler ise %7.90 oranında alan kaplamaktadırlar (Tablo 4).

Tablo 4. Çalışma Alanı için Değerlendirilen Akarsuya Mesafe Parametresinin Alansal ve Oransal Hesaplamaları ile Ağırlık Değerleri (Areal and Proportional Calculations and Weight Values of the Distance to River Parameter Evaluated for the Study Area)

AKARSUYA MESAFE (M)	AHY AĞIRLIK DEĞERİ	ALAN (KM ²)	ORAN(%)
250	0.503	857.815	21.19
500	0.260	775.383	19.15
1000	0.134	1316.26	32.51
1500	0.068	779.632	19.26
2000	0.035	319.791	7.90

4.1.2. Yağış (Rainfall)

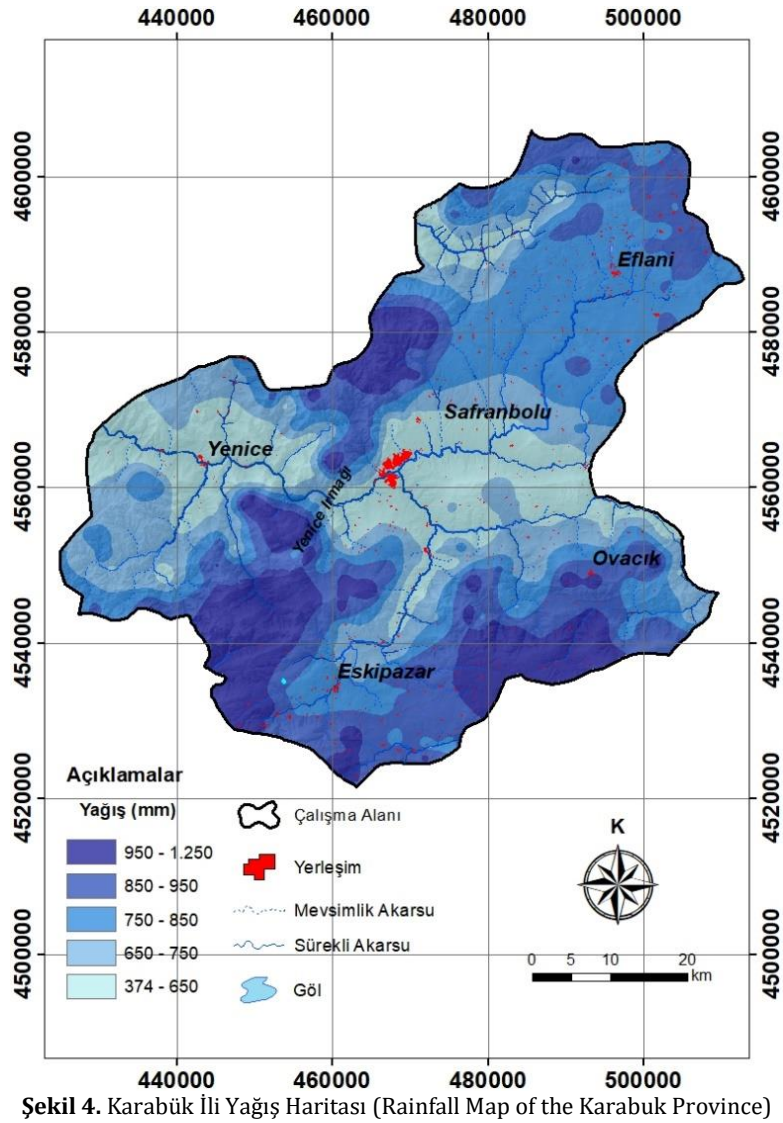
Taşkın oluşumunda etki derecesi en yüksek parametrelerden birisi yağış parametresidir. Taşkın oluşumları değerlendirilirken yağışın türü, süresi ve şiddeti göz önünde bulundurulmalıdır. Özellikle uzun süreli yağışların veya ani şiddetli yağışların taşkın oluşumunda oldukça etkili olduğu görülmektedir (Poussin vd., 2014). Bu kapsamda taşkın analizlerinin önemli bir bileşeni olan yağış faktörü çalışma alanı özelinde incelenmiştir.

Bu çalışmada alansal yağış dağılımını gösteren yağış haritası Karabük Meteoroloji Gözlem İstasyonunun (KMGİ) uzun yıllar ortalama yağış verileri kullanılarak Schreiber yöntemi ile belirlenmiştir. Alansal yağış dağılımı ArcGIS 10.8.2 yazılımının interpolasyon araçları kullanılarak oluşturulmuştur.

Yağış ile yükselti arasındaki ilişkiden türetilen Schreiber yöntemine göre; yükseltinin ortalama her 100 metredeki artışına bağlı olarak yağış miktarının 54 mm arttığı belirtilmektedir. Schreiber yönteminin temelini yükselti arttıkça yağış miktarının artması yaklaşımı oluşturmaktadır (Aydınözü, 2008; Erinç, 1984).

Ülkemizde meteoroloji istasyonlarının genellikle yerleşim yerleri içerisine kurulmasından dolayı iklim parametrelerinin hassas bir şekilde belirlenmesi işlemi zorlaşmaktadır. Yine ölçüm istasyonlarının dağınık bölgelerde kurulmaması nedeniyle yağışın alansal dağılımının belirlenmesinde zorluklar yaşanmaktadır. Özellikle taşkın risk çalışmalarında yağış miktarının ölçülemediği, meteoroloji gözlem istasyonunun olmadığı alanlara düşen yağış miktarının belirlenmesinde Schreiber yönteminin sıklıkla kullanılan bir yöntem olduğu görülmektedir (Fırat ve Dursun, 2023; Meral ve Eroğlu, 2021; Dölek ve Avcı, 2017).

Çalışma alanı özelinde Karabük MGİ istasyonuna ait uzun yıllar (1965-2022) ortalama yağış miktarı 487.5 mm/yıl olarak hesaplanmıştır (MGM, 2023). İstasyonun denizden yükseltisi 278 m olup, çalışma alanı içerisinde meteoroloji istasyonunun bulunmadığı noktalara düşen yağış miktarını tahmin edebilmek amacıyla uniform bir dağılımla CBS ortamında noktasal sanal istasyonlar atayarak yağış-yükselti hesaplamaları yapılmıştır. Tüm analizler ArcGIS arayüzünde Radial Basis Function aracı kullanılarak yapılmış olup, çalışma alanının yağış dağılım haritası oluşturulmuştur (Şekil 4).



Şekil 4. Karabük İli Yağış Haritası (Rainfall Map of the Karabük Province)

Oluşturulan yağış dağılım haritasına göre alanın güneybatı, kuzeybatı ve güneydoğu kesimlerindeki dağ sıralarının olduğu bölgeler, çalışma alanının en yüksek noktaları olup, düşen yağış miktarı 950-1250 mm/yıl arasında değişmektedir. Dere yataklarının olduğu alüvyon kesime düşen yağış miktarı 350-650 mm/yıl arasında değişirken yükseltinin artmasına bağlı olarak yağış değerlerinin ilin orta kesimlerinde 750-850 mm/yıl arasında değiştiği belirlenmiştir (Şekil 4 ve Tablo 5). Taşkın riski açısından fazla yağış alan birimler en riskli bölgeler olarak değerlendirilmiştir.

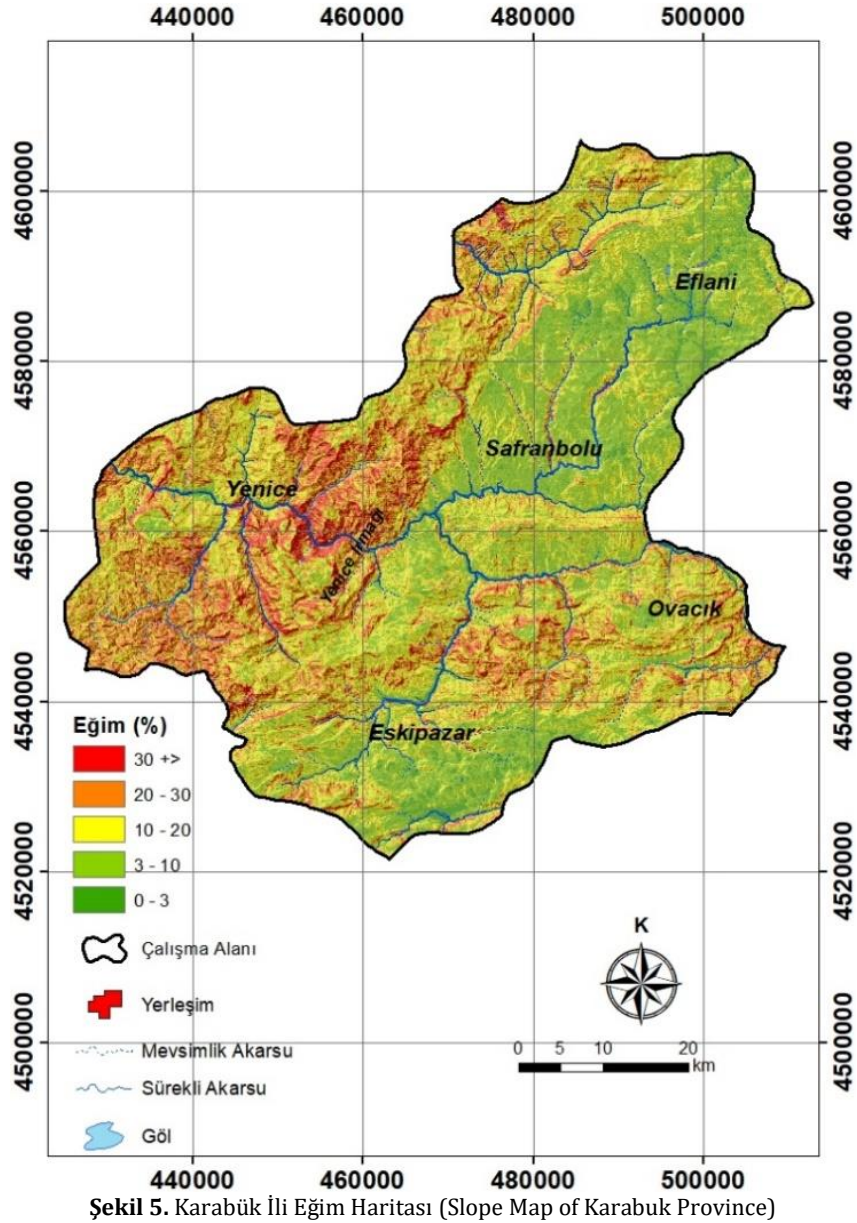
Tablo 5. Çalışma Alanı İçin Değerlendirilen Yağış Parametresinin Alansal Ve Oransal Hesaplamaları İle Ağırlık Değerleri (Areal And Proportional Calculations and Weight Values of the Precipitation Parameter Evaluated for the Study Area)

YAĞIŞ (MM/YIL)	AHY AĞIRLIK DEĞERİ	ALAN (KM ²)	ORAN(%)
374-650	0.035	807.08	19.94
650-750	0.068	763.00	18.85
750-850	0.134	1101.44	27.21
850-950	0.260	822.39	20.31
950-1250	0.503	554.61	13.7

4.1.3. Eğim (Slope)

Önemli bir topoğrafik faktör olan eğim, yüzey suyu akışının düzenlenmesinde çok önemli bir rol oynamaktadır. Eğim, yağışın akarsu akışına katkısı üzerinde baskın bir etkiye sahiptir. Özellikle bir sahaya ulaşan yüzey akışının veya yeraltı drenajının yönünü ve miktarını etkilemektedir (Hagos vd., 2022). Yükseklik ve eğim faktörleri, bir arazinin stabilitesinin yönetilmesinde, taşkın risklerini kontrol etmede önemli bir rol oynamaktadırlar. Eğim aynı zamanda sızmayla doğrudan ilişkili bir parametredir. Yüzey eğiminin artması sızma sürecini azaltırken yüzey akışını arttırmaktadır (Dung vd., 2020). Bunun sonucunda yüzey eğimi daha düşük olan bölgelerde çok fazla miktarda su birikerek taşkın, sel durumlarına neden olmaktadır. Eğim derecesi düşük olan düz alanlar taşkın ve

sellerden yoğun bir şekilde etkilenmektedir. Buna karşılık eğim açısı yüksek yüzeyler yüzeysel akışa daha duyarlıyken, düz araziler suların birikmesine daha duyarlı bölgelerdir. Çalışma alanının eğim haritası sayısal yükseklik modeli kullanılarak oluşturulmuştur (Şekil 5). Eğim katmanı ArcGIS arayüzünün eğim oluşturma modülü kullanılarak oluşturulmuş olup çalışma alanının eğim miktarının 0° ile 76° derece arasında değiştiği belirlenmiştir.



Şekil 5. Karabük İli Eğim Haritası (Slope Map of Karabuk Province)

Eğim analizi sonucunda eğim miktarı düşük olan alanlar yüksek taşkın riskli alanlar olarak tanımlanırken, eğim miktarı arttıkça taşkın riski azalmaktadır. Buna göre eğim derecesi çok düşük olan ($0-3^\circ$) bölgeler %5.7 oranında, düşük olan ($3-10^\circ$) bölgeler %28.6 oranında, orta olan ($10-20^\circ$) bölgeler %36.4 oranında, yüksek olan bölgeler ($20-30^\circ$) %20.6 oranında, çok yüksek olan ($30-76^\circ$) bölgeler ise %8.7 oranında alan kaplamaktadırlar (Tablo 6). Eğim derecesi çok yüksek olan alanlar Karabük ilinin Yenice ilçesinin doğu, kuzeydoğusundaki dağlık kesimler ile Ovacık ilçesinin batı, güneybatı kesimlerinde yer almaktadır (Şekil 5 ve Tablo 6).

Tablo 6. Çalışma Alanı İçin Değerlendirilen Eğim Parametresinin Alansal ve Oransal Hesaplamaları İle Ağırlık Değerleri (Areal and Proportional Calculations and Weight Values of the Slope Parameter Evaluated for the Study Area)

EĞİM ($^\circ$)	AHY AĞIRLIK DEĞERİ	ALAN (KM ²)	ORAN (%)
0-3	0.035	228.51	5.7%
3-10	0.069	1156.15	28.6%
10-20	0.134	1472.22	36.4%
20-30	0.260	830.82	20.6%
30-76	0.503	352.94	8.7%

geçirimsiz, pürüzsüz yüzeyleri içeren yapay alanlar taşkın riski en yüksek bölgeler olarak belirlenmiştir (Şekil 6 ve Tablo 7).

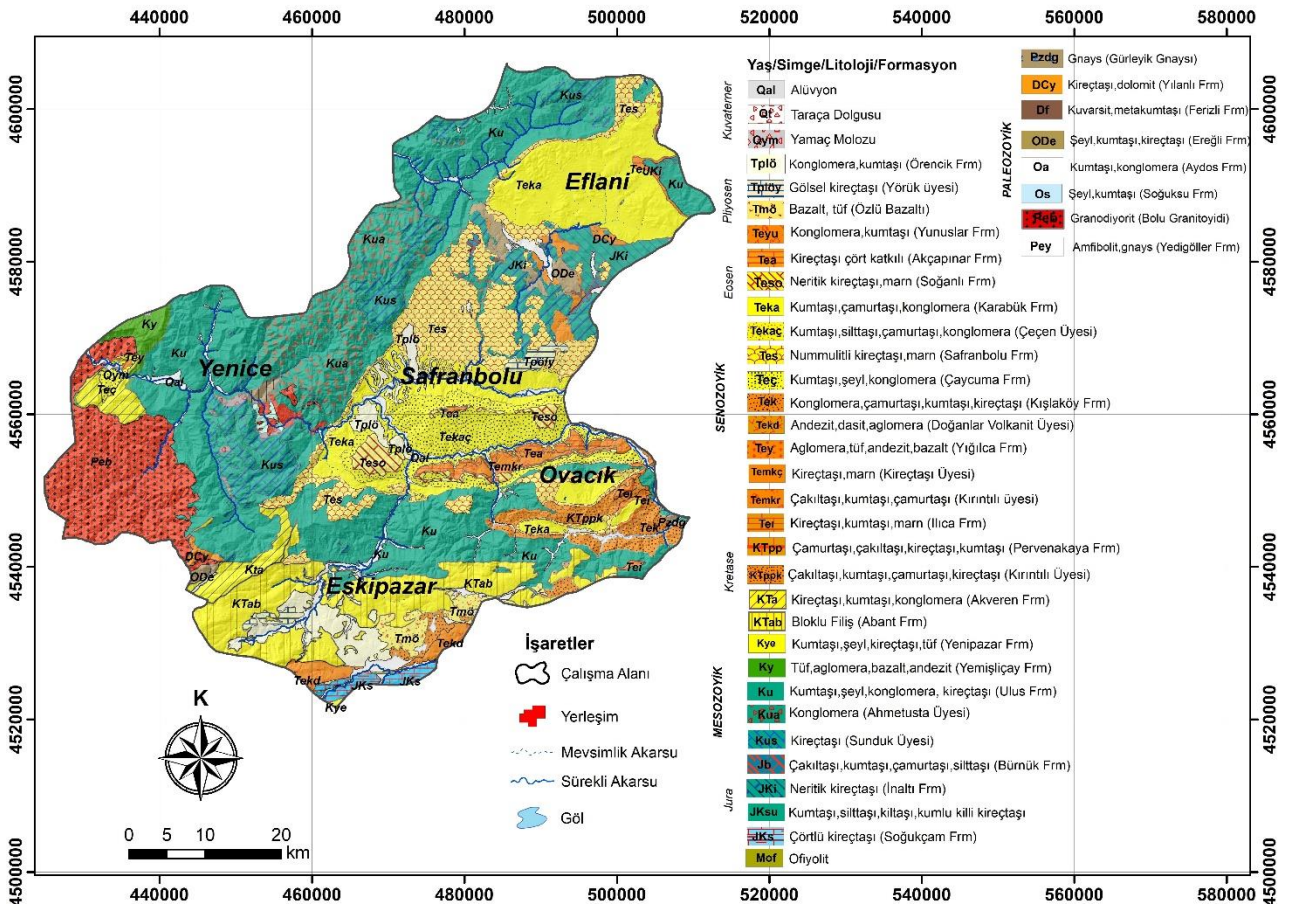
Tablo 7. Çalışma Alanı İçin Değerlendirilen Arazi Kullanım/Arazi Örtüsü Parametresinin Alansal ve Oransal Hesaplamaları ile Ağırlık Değerleri (Areal and Proportional Calculations and Weight Values of the Land Use/Land Cover Parameter Evaluated for the Study Area)

ARAZİ KULLANIM	AHY AĞIRLIK DEĞERİ	ALAN (KM ²)	ORAN (%)
Yapay Alanlar	0.581	46.3	1.14
Tarımsal Alanlar	0.258	994.22	24.55
Orman ve Yarı Doğal Alanlar	0.105	2983.89	73.70
Su Yapıları	0.056	24.41	0.61

4.1.5. Jeoloji (Geology)

Taşkına duyarlı bölgelerin analizlerinde jeolojik birimlerin litolojik özellikleri oldukça önemlidir. Özellikle zemini oluşturan litolojik malzemenin türüne göre birimin suyu tutma, iletme, gözeneklilik ve ayrışma derecesi değerlendirmelerde dikkatle ele alınmalıdır.

Geçirimsizliğin düşük olduğu litolojik birimlerde sızmanın az veya hiç olmaması halinde yüzeysel akışa geçen su miktarı taşkın riskini artırmaktadır (Hammami vd., 2019). Geçirimsiz zeminlerde ise sızma miktarı görece fazla, yüzeysel akış ise daha az olacağından taşkın riski daha düşüktür (Hammami vd., 2019). Çalışma alanının 1/100.000 ölçekli jeoloji haritası E29, E30, F28, F29, F30, G28, G29 ve G30 jeoloji paftalarının (MTA, 2002a, 2002b; MTA, 2010; MTA, 2011) ArcGIS 10.8 programında birleştirilmesi ve sayısallaştırılması ile analize hazır hale getirilmiştir (Şekil 7).



Şekil 7. Karabük İli Jeoloji Haritası (MTA, 1/100.000 ölçekli Zonguldak, Kastamonu, Bolu, Çankırı jeoloji paftalarından yararlanılarak düzenlenmiştir.) (Geology Map Of Karabük Province (MTA, 1/100.000 Scale Geology Map of Zonguldak, Kastamonu, Bolu and Çankırı).)

Havzadaki jeolojik birimlerin geçirimsizlik ve iletimsizlik özellikleri değerlendirilerek çalışma alanı için geçirimsizlik haritası oluşturulmuş ve jeolojik birimlerin taşkına olan duyarlılıkları geçirimsizlik parametresi üzerinden değerlendirilmiştir. Bu kapsamda çalışma alanında yüzeyleyen jeolojik birimler gözeneklilik ve geçirimsizlik

özelliklerine göre Çok Yüksek Geçirimli (ÇYG), Yüksek Geçirimli (YG), Orta Geçirimli (OG), Düşük Geçirimli (DG) ve Çok Düşük Geçirimli (ÇDG) olarak sınıflandırılmıştır.

Jeolojik birimlerin geçirimsizlik özelliklerine göre koyu mavi olarak haritalanan ÇYG birimler birincil gözenekliliği yüksek, pekişmemiş zengin ve yaygın akiferleri, açık mavi olarak haritalanan YG birimler pekişmemiş, yeraltısuyu verimi orta olan akiferleri, koyu yeşil olarak haritalanan YG birimler ikincil gözenekliliği yüksek, pekişmiş zengin ve yaygın akiferleri, açık yeşil olarak haritalanan OG birimler pekişmiş, yeraltısuyu verimi orta olan akiferleri temsil etmektedir.

Açık kahverengi olarak haritalanan DG birimler ise yerel yeraltısuyu içeren veya yeraltısuyu verimi zayıf formasyonları, koyu kahverengi olarak haritalanan ÇDG birimler ise yeraltısuyu içermeyen ve yeraltısuyu verimi çok zayıf olan formasyonlar olarak değerlendirilmiştir (Şekil 8).

ÇDG ve DG sahip jeolojik birimlerin yer aldığı bölgeler taşkın riski yüksek bölgeler olarak değerlendirilmiştir. Buna göre çalışma alanında Eosen yaşlı kumtaşı, konglomera, çamurtaşı, silttaşından oluşan Karabük formasyonu (Tek) ve Karabük formasyonunun Çeçen üyesi (Tekaç) geçirimsiz özellikte olup formasyon içerisinde açılmış çok sayıda sondaj kuyusunun mevcut olduğu ve yeraltısuyu alındığı belirtilmiştir (SYGM, 2023). Dolayısıyla formasyon pekişmemiş yaygın ve zengin akifer özelliği göstermekte olup çok yüksek geçirimsiz (ÇYG) olarak haritalanmış ve analizde taşkın riski düşük jeolojik birimler olarak değerlendirilmiştir.

Jura yaşlı neritik kireçtaşlarından oluşan İnaltı (JKi) ve yarı pelajik çörtlü kireçtaşlarından oluşan Soğukçam formasyonları (JKs) karstlaşma dereceleri buldukları yerlere göre değişen, ikincil gözenekliliği yüksek, pekişmiş yaygın ve zengin karstik akiferler olup yüksek geçirimsiz birimler (YG) olarak haritalanmıştır.

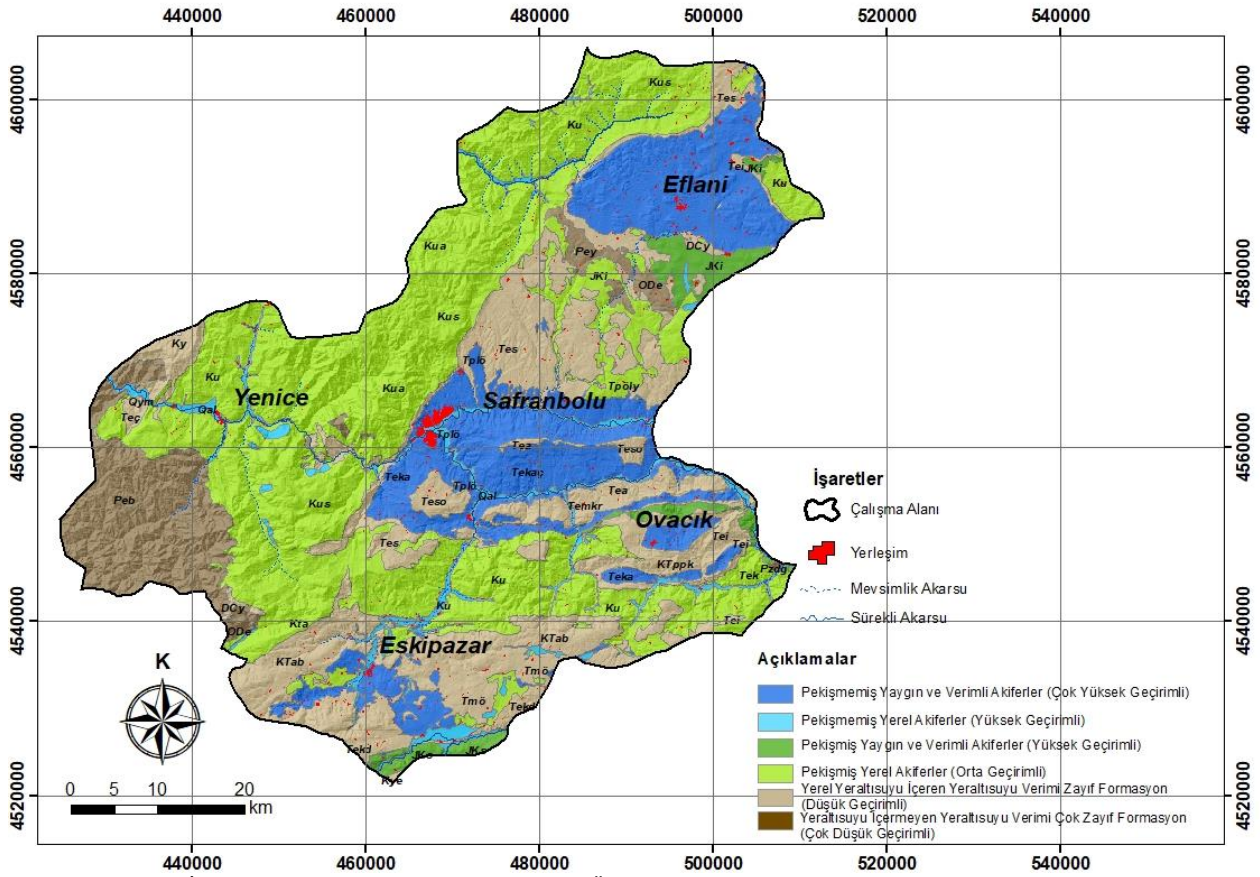
Pliyosen yaşlı gevşek tutturulmuş konglomera, kumtaşı, kiltaşından oluşan Örencik formasyonu (Tplö) ile Kuvaterner yaşlı alüvyon (Qal) ve yamaç molozu (Qym) birimlerinin yayılımları ve kalınlıkları havza içerisinde değiştiğinden geçirimsizlik ve iletimsizlik değerlerinin değişiklik gösterebileceği belirtilmektedir (SYGM, 2023). Dolayısıyla bu birimler orta verimli pekişmemiş yerel akiferler olarak tanımlanmış olup YG olarak haritalanmıştır (Şekil 8).

Kretase yaşlı kumtaşı, şeyl, konglomera, kireçtaşı, çakıltası, silttaşı litolojilerinden oluşan Ulus formasyonu (Ku) ile formasyonun Ahmetusta (Kua) ve Sunduk (Kus) üyelerinin orta geçirimsiz özellik gösterdikleri belirtilmiş olup (SYGM, 2023), bu birimler OG olarak haritalanmıştır (Şekil 8).

Eosen yaşlı Safranbolu formasyonu (Tes), Yiğilca formasyonu (Tey), Kretase yaşlı bloklu filişden oluşan Abant Formasyonu (KTab), Yemişliçay formasyonu (Ky), Akveren formasyonu (KTA) ile Pliyosen yaşlı bazalt ve tüflerden oluşan Özlü Bazalt (Tmö) tektonik hareketlere bağlı olarak kırık çatlaklarından kaynak çıkışları bulunan, yeraltısuyu bakımından gözeneklilik ve geçirimsizlik özellikleri zayıf olan formasyonlar olup DG olarak haritalanmıştır (SYGM, 2023) (Şekil 8).

Paleozoyik yaşlı Yılanlı formasyonu (DCy) düşük geçirimsizlik özelliği nedeniyle, Eosen yaşlı Akçapınar (Tea) ile Soğanlı (Teso) formasyonları ise marnlı seviyelerinden dolayı DG birimler olarak değerlendirilmiştir (Şekil 8).

Paleozoyik yaşlı granodiyorit, gabro, granitlerden oluşan Bolu Granitoyidi (Peb), Paleozoyik yaşlı ayrılmamış ambifolit, gnays, migmatit, metagranit sist litolojilerinden oluşan Yedigöller formasyonu (Pey), Paleozoyik yaşlı gnayslardan oluşan Gürleyik Gnaysı (Pzdg) ve Ereğli formasyonu (ODE) ise çok düşük geçirimsizlik özellikleri nedeniyle ÇDG birimler olarak haritalanmıştır (Şekil 8).



Şekil 8. Karabük İlindeki Jeolojik Birimlerin Geçirimlilik Özellikleri (Permeability Properties of Geological Units in Karabük Province)

Çalışma alanında yüzeyleyen jeolojik birimlerin geçirimsizlik sınıfları, alansal hesaplamaları, yüzde oranları ve ağırlık değerleri Tablo 8'de sunulmuştur.

Tablo 8. Çalışma Alanı için Değerlendirilen Jeoloji Parametresinin Alansal ve Oransal Hesaplamaları ile Ağırlık Değerleri (Areal and Proportional Calculations and Weight Values of the Geology Parameter Evaluated for the Study Area)

JEOLOJİK BİRİM	AHY AĞIRLIK DEĞERİ	ALAN (KM ²)	ORAN (%)
Çok Düşük Geçirimli	0.503	354.94	8.76
Düşük Geçirimli	0.260	995.94	24.59
Orta Geçirimli	0.134	1717.28	42.39
Yüksek Geçirimli	0.068	243.82	6.02
Çok Yüksek Geçirimli	0.035	738.83	18.24

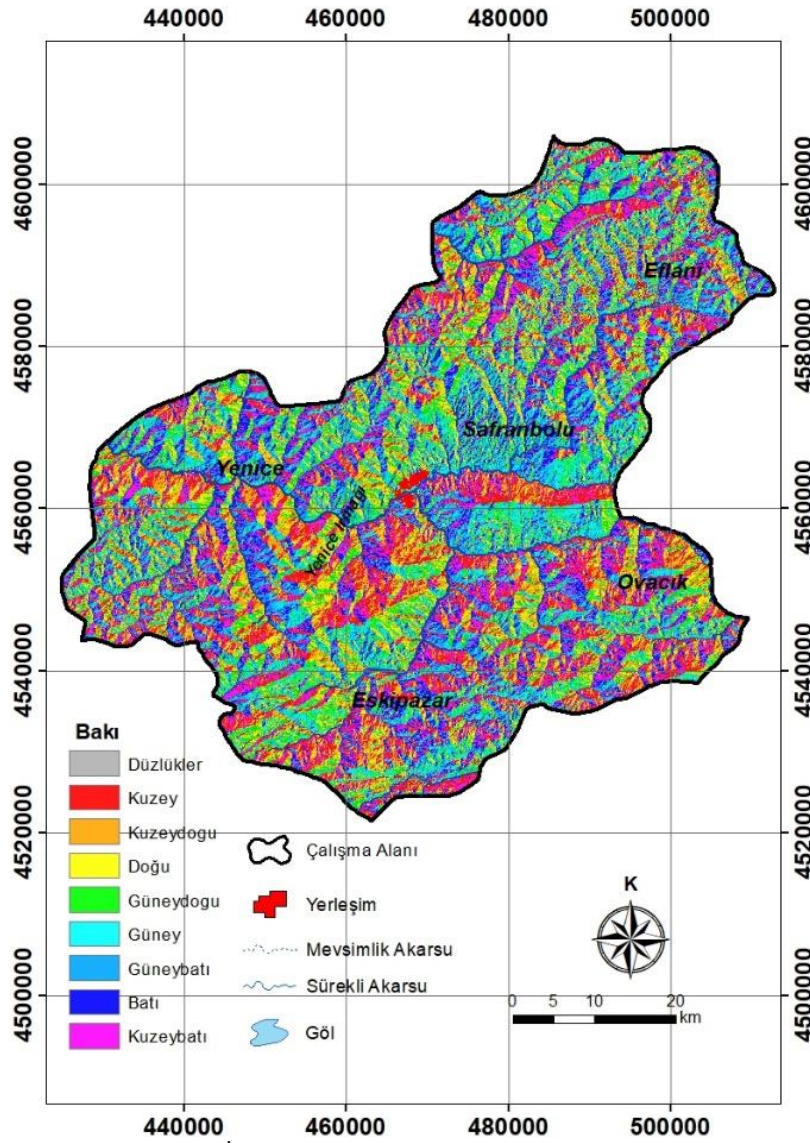
4.1.6. Bakı (Aspect)

Coğrafi bir terim olan bakı dağların güneşe bakan veya güneşi doğrudan gören tarafı olarak tanımlanmaktadır. Bakı yönü ise dağların güneşe dönük yamacı olarak tanımlanmaktadır. Bakı parametresi evapotranspirasyonu, toprak neminin tutulmasını ve bitki örtüsünün gelişimini etkilemekte olup taşkın risk analizlerinde doğrudan olmasada dolaylı olarak etkisinin ele alınması gereken parametreler arasındadır (Sahana ve Patel, 2019).

Ülkemizde güney yönüne bakan yamaçlarda kuzey yönüne bakan yamaçlara göre sıcaklık, güneş radyasyonu nedeniyle daha yüksek, güneşlenme süresi ile buharlaşma-terleme miktarı daha fazladır. Bu bölgelerde karlar daha hızlı erirken, tarım ürünleri daha erken olgunlaşmakta, orman üst sınırı ve yerleşim üst sınırının daha yüksek olduğu görülmektedir.

Yine kuzeye bakan yamaçlarda güneş radyasyonu süresinin daha kısa olması, kar ve toprağın daha doygun ve nemli olması nedeniyle yüzeyel akış daha fazladır. Güneye bakan yamaçlarda toprak, kuzeye bakan yamaçlara göre daha az doygun olduğundan yüzeyel akışa geçecek suların önemli bir kısmı süzülmemekte ve kuzey yamaçlara göre daha az miktarda yüzeyel akış gözlenmektedir (Sahana ve Patel, 2019).

Çalışma alanının bakı haritası, sayısal yükselti verisi kullanılarak ArcGIS 10.8 programının bakı modülü kullanılarak oluşturulmuştur (Şekil 9).



Şekil 9. Karabük İli Bakı Haritası (Aspect Map of the Karabük Province)

İnceleme alanında bakı parametresi ara yönler, ana yönler ve düz alanlar şeklinde 9 alt sınıfta incelenmiştir. Bakı katmanı analizi sonucunda güneye bakan yamaçların (Güney, Güneybatı, Güneydoğu) %37.70'lik bir alanı, kuzeye bakan yamaçların (Kuzey, Kuzeydoğu ve Kuzeybatı) ise çalışma sahasının %36.60'ını kapladığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte alanın toplamda %25.19'u Doğu (%12.74) ve Batı (%12.45) yamaçlardan, geriye kalan %0.51'lik kısmı ise düz alanlardan oluşmaktadır. Yapılan değerlendirmeler neticesinde; çalışma alanında kuzeye bakan yamaçlar güneye bakan yamaçlara göre taşkına daha duyarlı alanlar olarak belirlenmiştir (Şekil 9 ve Tablo 9).

Tablo 9. Çalışma Alanı için Değerlendirilen Bakı Parametresinin Alansal ve Oransal Hesaplamaları ile Ağırlık Değerleri (Areal and Proportional Calculations and Weight Values of the Aspect Parameter Evaluated for the Study Area)

BAKİ	AHY AĞIRLIK DEĞERİ	ALAN (KM ²)	ORAN (%)
Kuzeyli Ana Yön ve Ara Yönler	0.669	1478.95	36.60
Güneyli Ana Yön ve Ara Yönler	0.243	1522.96	37.70
Doğu-Batı	0.088	1017.99	25.19

4.1.7. Çalışma Alanı İçin Türetilmiş AHY Korelasyon Matrisi ve Kriter Değerlendirmeleri (Derived AHP Correlation Matrix and Criterion Evaluations for the Study Area)

Sunulan çalışmada değerlendirilen tüm parametrelerin kendi aralarındaki korelasyon matrisi, normalize matrisi ve kullanılan kriterlerin ağırlık değerleri Tablo 10, Tablo 11 ve Tablo 12'de sunulmuştur. Parametreler arasında önem yüzdesi sırasıyla akarsuya mesafe, yağış, eğim, arazi kullanım, jeoloji ve bakı olarak belirlenmiştir.

Çalışma kapsamında analiz edilen kriterlerin tutarlılığının 0.10 oranının altında olmasına dikkat edilmiştir. Korelasyon matrisleri yardımıyla değerlendirilen kriterlerin tutarlılık oranı (CR) sırasıyla akarsuya mesafe için

0.08, yağış için 0.08, eğim için 0.08, arazi kullanımı için 0.02, jeoloji için 0.08, bakı için 0.01'dir. Tüm kriterler arasında yapılan analiz için tutarlılık oranı ise 0.06 olarak hesaplanmıştır (Tablo 11). Hesaplanan bu değerler kriterler arası yapılan korelasyonların tutarlı ve kabul edilebilir olduğunu göstermektedir.

Tablo 10. Taşkın Riskine Yönelik Seçilen Kriterlere Göre Oluşturulmuş AHY Korelasyon Matrisi (AHP Correlation Matrix Created According to Selected Criteria for Flood Risk)

	AKARSUYA MESAFE	YAĞIŞ	EĞİM	ARAZİ KULLANIMI	JEOLOJİ	BAKI
Akarsuya Mesafe	1.00	2.00	3.00	5.00	5.00	9.00
Yağış	0.50	1.00	3.00	5.00	5.00	9.00
Eğim	0.33	0.33	1.00	3.00	5.00	7.00
Arazi Kullanımı	0.20	0.20	0.33	1.00	2.00	3.00
Jeoloji	0.20	0.20	0.20	0.50	1.00	2.00
Bakı	0.11	0.11	0.14	0.33	0.50	1.00
Sütun Toplam	2.34	3.84	7.67	14.83	18.50	31.00

Tablo 11. Normalize Edilmiş AHY Korelasyon Matrisi ve Kriter Ağırlıkları (Normalized AHP Correlation Matrix and Criteria Weights)

	AKARSUYA MESAFE	YAĞIŞ	EĞİM	ARAZİ KULLANIMI	JEOLOJİ	BAKI	Kriter Ağırlıkları	AHY (%)
Akarsuya Mesafe	0.427	0.521	0.391	0.337	0.270	0.290	0.373	37.3
Yağış	0.214	0.260	0.391	0.337	0.270	0.290	0.294	29.4
Eğim	0.141	0.086	0.130	0.202	0.270	0.226	0.176	17.6
Arazi Kullanımı	0.085	0.052	0.043	0.067	0.108	0.097	0.075	7.6
Jeoloji	0.085	0.052	0.026	0.034	0.054	0.065	0.053	5.3
Bakı	0.047	0.029	0.018	0.022	0.027	0.032	0.029	2.9
λ max:6.36, CI:0.072, RI: 1.24, CR: 0.058								

Tablo 12. Analiz Edilen Parametrelerin Önem Sıralamasına Göre Ağırlık Değerleri (Weight Values of the Analyzed Parameters According to Importance Ranking)

ANALİZ EDİLEN PARAMETRE	KRİTERİN ÖNEM SIRALAMASI	AHY AĞIRLIK DEĞERİ
Akarsuya Mesafe (m)	250	0.503
	500	0.260
	1000	0.134
	1500	0.068
	2000	0.035
Yağış (mm/yıl)	1250-950	0.503
	950-850	0.260
	850-750	0.134
	750-650	0.068
	650-374	0.035
Eğim (°)	0-3	0.035
	3-10	0.069
	10-20	0.134
	20-30	0.260
	30-76	0.503
Arazi Kullanımı/Arazi Örtüsü	Yapay Alanlar	0.581
	Tarımsal Alanlar	0.258
	Orman ve Yarı Doğal Alanlar	0.105
	Su Yapıları	0.056
Jeoloji	Çok Düşük Geçirimli	0.503
	Düşük Geçirimli	0.260
	Orta Geçirimli	0.134
	Yüksek Geçirimli	0.068
Bakı	Çok Yüksek Geçirimli	0.035
	Kuzeyli Ana Yön ve Ara Yönler	0.669
	Doğu-Batı	0.088
	Güneyli Ana Yön ve Ara Yönler	0.243

4.2 Taşkın Duyarlılık Haritasının Değerlendirilmesi (Evaluation of the Flood Susceptibility Map)

Karabük ili için CBS ortamında akarsuya mesafe, eğim, yağış, jeoloji, arazi kullanım/arazi örtüsü ve baki gibi parametreler kullanılarak AHY yardımıyla taşkın duyarlılık haritası oluşturulmuştur. Oluşturulan haritada risksiz alanlar ile çok yüksek, yüksek, orta ve az riskli alanlar olmak üzere 5 farklı sınıf altında taşkınlara duyarlı bölgeler ayrılanmıştır.

Bu sınıflamaya göre Karabük ilinde taşkın riski taşımayan alanlar 963.49 km² alan kaplamakta ve bu oran ilin %23.89'unu oluşturmaktadır. 0.043-0.132 ağırlık değeri ile taşkın riski taşımayan alanlar eğim miktarının düşük, yıllık ortalama düşen yağış miktarının diğer bölgelere göre daha az olduğu, akarsu ağının iyi gelişmediği, tarım alanlarının fazla ve yerleşimlerin daha az olduğu lokasyonlar olarak belirlenmiştir.

2. sınıf olarak az riskli alanlar 0.132-0.221 ağırlık değerine karşılık gelmektedir. Bu alanlarda akarsuya mesafenin risksiz alanlara göre bir miktar arttığı, yıllık ortalama yağış miktarının çok yüksek olmadığı, eğim miktarının bir miktar yüksek ve yerleşim yerlerine yakınlık bakımından da risksiz alanlarla benzer dağılımda olduğu belirlenmiştir. Karabük ilinde az risk taşıyan bölgeler 1663.16 km² alan ile ilin %41.23'ünü oluşturmaktadır.

3. sınıf olarak orta risk taşıyan alanlar 0.221-0.310 ağırlık değerine karşılık gelmektedir. Orta derecede risk oluşturan bu bölgeler çalışma alanında 1128.84 km² alan ile çalışma alanının %27.99'unu oluşturmaktadır. Yüksek risk taşıyan alanların etrafında bulunan bu bölgeler akarsu ağının yoğunlaştığı, eğim miktarının yükselmeye başladığı ve yıllık ortalama yağış miktarının arttığı alanlar olarak belirlenmiştir. Karabük il merkezinde Yeşiltepe, Salmanlar, Şevkiler, Yürekören, İnceboğa, Sofuoğlu gibi yerleşim yerleri ile Araç Çayı ile Soğanlı çayının kollarının birleştiği alan bu grupta yer almaktadır.

4. sınıf olarak yüksek taşkın riski taşıyan alanlar 0.310-0.399 ağırlık değerine karşılık gelmektedir. Yüksek derecede taşkın riski taşıyan bu alanlar çalışma alanında 247.6 km² alan kaplamaktadır. İl genelinde %6.14 oranında yer kaplayan bu alanlara düşen yıllık ortalama yağış miktarının yüksek, akarsu ağının oldukça gelişmiş olması gerekse arazinin eğim miktarının yüksek olması taşkınlara maruz kalma riskini arttırmıştır.

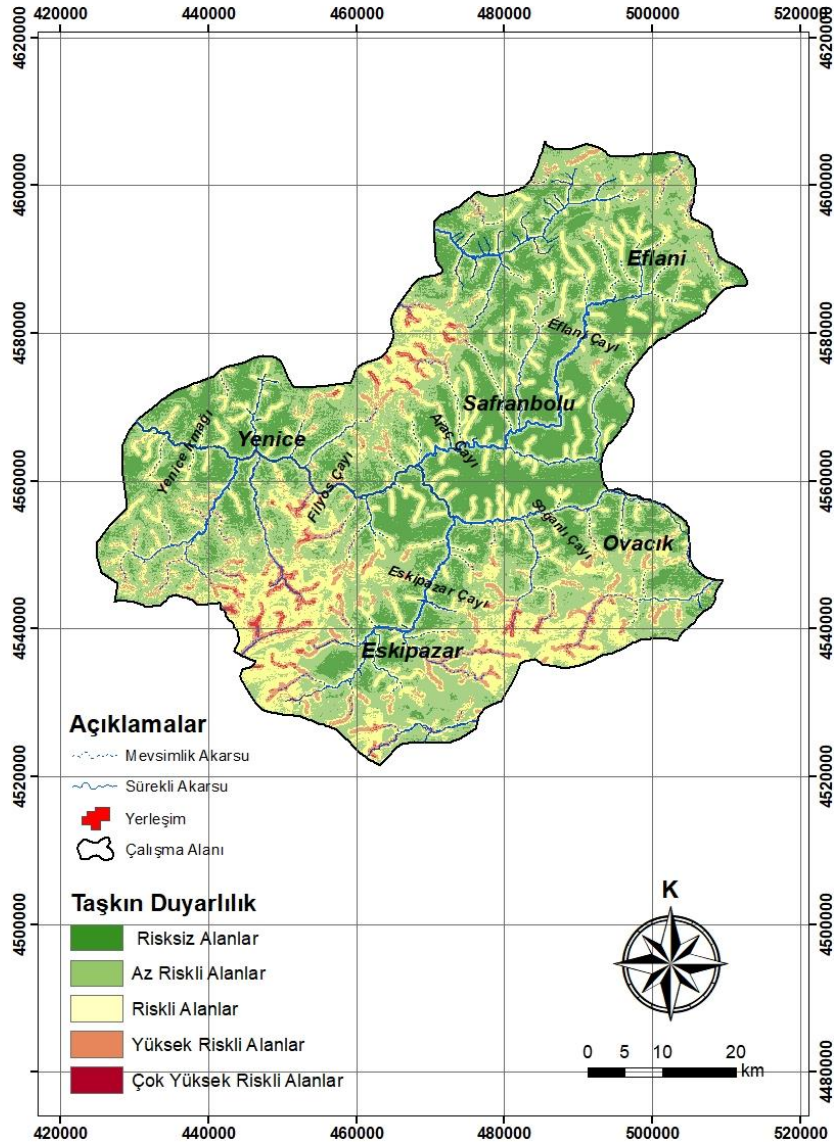
Bu alanlarda yerleşime izin verilmesi durumunda taşkın yönetim planlamalarının dikkatli yapılması, altyapı ve ıslah çalışmalarının tamamlanması, akarsuyu drenaj ağının düzenli kontrol edilmesi, akışın rahat olması için rusubi malzeme temizliğinin periyodik olarak yapılması gerekmektedir. İlin Ödemiş, Yazıköy, Çerçiler, Belenköy, Kale, Bürnük, Dudaş, Kapaklı, Şekemeşe, Sofular, Hasanlar, Karaşar, Akçakese, Yukarı Kızılcaören gibi yerleşim yerleri bu bölgede kalmaktadır. Bununla birlikte Filyos çayının kolları, Yenice Irmağı'nın kuzey kolları ile Soğanlı çayının güney kolları taşkın riskinin yüksek olduğu alanlardır.

5. sınıf olarak çok yüksek riskli alanlar 0.399-0.488 ağırlık değerine karşılık gelmektedir. Taşkın riski yönünden Karabük ilinin çok yüksek riskli olduğu bu alanlar 30.35 km² arazi ile çalışma alanının %0.75'ini oluşturmaktadır (Tablo 13). Yenice Irmağı'nın kuzeydoğu kesimleri, Filyos Çayı ve Eskipazar çayının olduğu alanlar ile Ovacık ve Eflani çayının kolları yüksek riskli taşkın bölgeleri olarak haritalanmıştır (Şekil 10).

Özellikle son yıllarda yüksek taşkın riskli ilçe merkezleri olarak tanımlanan Yenice, Eskipazar, Eflani ve Ovacık ilçesinin güneydoğu kesimlerinde taşkınların yaşandığı ve bu yerleşim yerlerindeki bazı tarım alanlarının hasar aldığı bilinmektedir (Şekil 10 ve Tablo 13).

Tablo 13. Çalışma Alanında Taşkın Riski Taşıyan Alanların Sınıflandırılması (Classification of Flood Risk Areas in the Study Area)

TAŞKIN RİSKİ	ALAN (KM ²)	YÜZDE ORANI (%)
Risksiz	963.49	23.89
Az Riskli	1663.16	41.23
Orta Riskli	1128.84	27.99
Yüksek Riskli	247.6	6.14
Çok Yüksek Riskli	30.35	0.75



Şekil 10. Karabük İli Taşkın Duyarlılık Haritası (Flood Susceptibility Map of Karabuk Province)

5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Sel ve taşkınlar yeryüzünde depremlerden sonra en sık görülen meteorolojik afetlerden biridir. Bu kapsamda yıllık ortalama yağış miktarı ve akarsu yoğunluğu fazla olan bölgelerdeki yerleşim yerleri taşkın riski altındadır. Bu çalışmada Karabük ili için Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHY) kullanılarak CBS ortamında ArcGIS 10.8 yazılımı yardımıyla taşkın risk analizi gerçekleştirilmiştir. Taşkın risk analizinde akarsuya mesafe, yağış, eğim, arazi kullanımı/arazi örtüsü, jeoloji ve baki parametreleri kullanılmıştır. Her bir parametre için oluşturulan katmanlar ArcGIS arayüzünde raster veri halinde ağırlıklı toplam komutu ile üst üste bindirilmiş ve il için taşkın duyarlılık haritası oluşturulmuştur. Yapılan analiz ile Karabük ilinde muhtemel taşkın riskine maruz kalacak alanlar ortaya konulmuştur. Buna göre Yenice ilçesinin kuzeydoğu kesimleri, Eskipazar ve Ovacık ilçe merkezlerinin güney ve güneybatı kesimlerinin yüksek taşkın riskine maruz kalabileceği belirlenmiştir. Taşkın riski taşıyan bölgeler riskin derecesine göre çok yüksek, yüksek, orta, az riskli alanlar ile risksiz alanlar olarak 5 farklı sınıf altında haritalanmıştır. Yapılan taşkın risk analiz sonucuna göre ilin %6.14'ü yüksek riskli, %0.75'i çok yüksek riskli, %27.99'u orta riskli, %41.23'ü az riskli, %23.89'u ise risksiz alanlar olarak belirlenmiştir.

Günümüzde artan nüfus, plansız kentleşme ve iklim değişikliği süreçlerinin getirdiği riskler gün geçtikçe artarak farklı afet türlerine zemin hazırlamaktadır. Bu kapsamda gerek ÇKKV yöntemlerinden olan AHY gerekse CBS teknolojileri taşkın yönetim planlamasında başarılı sonuçlar veren, katkı payı yüksek olan karar destek sistemleridir. Sunulan araştırma ülkemizin çeşitli il ve nehir havzalarında yapılacak benzer taşkın risk azaltma ve planlama çalışmalarına metodoloji olarak altlık oluşturacak verilerle, yönlendirici bir tespit çalışması niteliğine sahiptir. Bu kapsamda çalışma alanı için taşkın riskine karşı alınacak önlem ve öneriler kapsamında öncelikli olarak ildeki akarsu ve derelere taşkın erken uyarı ve ikaz sistemleri ile hidro-meteorolojik gözlem ağlarının kurulması sağlanmalıdır. Olası bir taşkın anında erken uyarı sistemlerinin etkinliği ve sürdürülebilirliği

sağlanmalı, meteoroloji radarlarından yararlanılmalı, taşkın tahliye haritaları ve toplanma alanları önceden hazır ve belirli olmalıdır. İlin imar planları türetilen taşkın risk haritalarına göre güncellenmelidir. İle ait türetilmiş tüm veriler ortak bir sayısal veri tabanında depolanarak, taşkın yönetiminde söz sahibi kurum ve kuruluşlara erişimin mümkün olması sağlanmalıdır. Bununla birlikte il genelinde taşkın riski olan bölgelerin tarım alanı olarak kullanılması sağlanmalı, akarsu ve dere yataklarında yapılaşmadan kaçınılmalı, doğal bitki örtüsü arttırılmalıdır. Yerleşim bölgelerindeki altyapı hasarları onarılmalı, dere yatakları ıslah çalışmaları ile güçlendirilmeli, akarsu drenaj sistemleri düzenli kontrol edilerek rüsubat temizliği yapılmalıdır. Özellikle taşkın riski yüksek olan yerleşim yerlerinde yaşayan yerel halkın olası bir afet anında neler yapılacağına yönelik bilgilendirmeler önceden çeşitli eğitimlerle, seminerlerle ve tatbikatlarla sağlanmalıdır. Ülkemiz coğrafyası sebebiyle türlü afetlere maruz kalmaktadır. Bu kapsamda gerek yerel halk gerekse kamuoyunda afet farkındalık bilinci oluşturulmalıdır. Taşkın afetine yönelik işitsel, yazılı ve görsel unsurlar güçlü bir şekilde kullanılmalıdır. Ayrıca karar vericilerin ve tüm paydaşların birbirleriyle olan koordinasyonlarının afet yönetiminde oldukça önemli bir yeri olduğu düşünülmektedir. Özellikle olası bir afet anında taşkına müdahale durumuyla ilgili dolaylı veya doğrudan ilişkili olabilecek tüm kurum ve kuruluşların taşkın öncesi görev ve sorumluluklarının belirlenmesinin önemli olacağı düşünülmektedir. Sunulan çalışmanın geliştirilmesi ile ilgili öncelikle taşkın risk analizi kapsamında değerlendirilen faktör katmanların yanında farklı morfometrik özellikler (çatallanma oranı, drenaj tekstürü, drenaj yoğunluğu, topoğrafik nemlilik indeksi vb.) analize katılabileceği gibi uzaktan algılama teknolojilerinin de sürece dahil edilerek haritalamaların geliştirilebileceği düşünülmektedir. Çeşitli bir veya iki boyutlu matematiksel hidrolojik model programları (Hec-Ras vb.) kullanılarak hidrodinamik durum farklı tekerrür debilerine bağlı olarak ele alınmalı, sahanın taşkın riski hesaplanmalı, elde edilen sonuçlar diğer yöntemlerle karşılaştırılarak taşkın hassasiyet analizlerinin gerçekleştirilebileceği düşünülmektedir. Yine taşkın tehlike değerlendirmelerinin taşkın derinliği ve taşkın akış hızı parametreleri göz önünde bulundurularak gerçekleştirilebileceği, taşkın zarar haritaları ile olası bir afete yönelik yapısal zarar projeksiyonlarının yapılabileceği düşünülmektedir.

Teşekkür (Acknowledgement)

Sunulan çalışmada yazar sayısal yükselti modeli verileri, CORINE arazi kullanım/arazi örtüsü verileri, meteorolojik veriler ile jeoloji haritaları için sırasıyla Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırma Merkezi'ne (USGS), Avrupa Çevre Ajansı'na, Tarım ve Orman Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne ve Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü'ne, makale metninin son haline gelmesindeki katkı ve önerileri için editör ve hakemlere teşekkür eder.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

Kaynaklar (References)

- AFAD, 2022. Açıklamalı Afet Terimleri Sözlüğü, www.afad.gov.tr, Erişim Tarihi: 20.12.2023.
- AFAD, 2019. Türkiye'de Afet Kaynaklı ve Doğa Kaynaklı Afet İstatistikleri. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, www.afad.gov.tr, Erişim Tarihi: 20.12.2023.
- Aydınöz, D., 2008. Yükseldikçe Bölgelerimize Göre Her 100 m.deki Yağış Artışı Üzerine Bir Deneme. Marmara Coğrafya Dergisi, 17, 172-184.
- Aydın, M.C., Sevgi Birincioğlu, E., 2022. Flood Risk Analysis Using GIS-Based Analytical Hierarchy Process: A Case Study of Bitlis Province. Applied Water Science, 12, 122. <https://doi.org/10.1007/s13201-022-01655-x>.
- Chakraborty S., Mukhopadhyay S., 2019 Assessing Flood Risk Using Analytical Hierarchy Process (AHP) and Geographical Information System (GIS): Application in Coochbehar District of West Bengal, India. Natural Hazards, 99 (1), 247-274. <https://doi.org/10.1007/s11069-019-03737-7>.
- Copernicus, 2023. Data of Land Use from Copernicus Land Monitoring Service. <https://land.copernicus.eu/> Erişim Tarihi: 28.12.2023.
- CRED, 2018. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters-review of Disaster Events, <https://www.cred.be/publications>. Erişim Tarihi: 14 April 2019.
- Das, S., 2018. Geographic Information System and AHP-Based Flood Hazard Zonation of Vaitarna Basin, Maharashtra, India. Arabian Journal of Geosciences, 11(19), 576.
- Dung, N.B., Minh, D.T., Ahmad, A., Long, N.Q., 2020. The Role of Relative Slope Length in Flood Hazard Mapping Using AHP and GIS Case Study: lam River Basin, Vietnam. Geography Environment Sustainability, 13 (2), 115-123.
- Dutta, M., Saha, S., Saikh, N.I., Sarkar, D., Mondal, P., 2023. Application of Bivariate Approaches for Flood Susceptibility Mapping: A District Level Study in Eastern India. HydroResearch, 6, 108-121.
- Danumah J.H., Odai, S., Mahaman B.S., Szarzynski, J., Thiel, M., Adjei, K., Kouame, F., Akpa, L., 2016. Flood Risk Assessment and Mapping in Abidjan District Using Multi-Criteria Analysis (AHP) Model and Geoinformation Techniques, (cote d'ivoire). Geoenvironmental Disasters, 3. 10.1186/s40677-016-0044-y.

- Dölek, İ., Avcı, V.İ., 2017. Muş İlinin Sel ve Taşkın Duyarlılık Haritalarının Oluşturulması. Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi, 44(5), 190-204.
- Erinç, S., 1969. Klimatoloji ve Metodları. İstanbul Üniversitesi Coğrafya Enstitüsü Yayınları, 994, 35, İstanbul.
- Fırat F., Dursun Ö.F., 2023. Determination of Basin Characteristics to Provide a Base for the Creation of Malatya Flood Risk Zones; The Example of Darende and Gürün. AJEAS, 1, 1, 73-82.
- Geofabrik, 2023. Maps and Data, <https://www.geofabrik.de/data/> Erişim Tarihi: 27.12.2023.
- Ghosh, A., Kar, S.K., 2018. Application of Analytical Hierarchy Process (AHP) for Flood Risk Assessment: A Case Study in Malda District of West Bengal, India. Natural Hazards, 94, 349-368. <https://doi.org/10.1007/s11069-018-3392-y>
- Hagos Y.G., Andualem T. G., Yibeltal M., Mengie M. A., 2022. Flood Hazard Assessment and Mapping Using GIS Integrated with Multi-Criteria Decision Analysis in Upper Awash River Basin, Ethiopia. Applied Water Science 12 (7), 148.
- Hammami S., Zouhri L., Souissi D., Souei A., Zghibi A., Marzougui A., Dlala M., 2019. Application of the GIS Based Multi-Criteria Decision Analysis and Analytical Hierarchy Process (AHP) in the Flood Susceptibility Mapping (Tunisia). Arabian Journal of Geosciences 12 (21), 1-16. <https://doi.org/10.1007/s12517-019-4754-9>.
- HGM, 2023. Türkiye Cumhuriyeti Milli Savunma Bakanlığı Harita Genel Müdürlüğü. Türkiye İdari Sınırları Verileri. <https://www.harita.gov.tr/> Erişim Tarihi: 16.12.2023.
- Sharir, K., Goh, T., Simon, N., Lee, K.E., Talip, M., Roslee, R., 2022. Assessment of Flood Susceptibility Analysis Using Analytical Hierarchy Process (AHP) in Kota Belud Area, Sabah, Malaysia IOP Conference Series: Earth and Environmental Science Volume 1103 Natural Disaster Seminar.
- Karabük İl Çevre Durum Raporu, 2022. Karabük Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğü, Karabük.
- Meral, A., Eroglu, E., 2021. Evaluation of Flood Risk Analyses with AHP, Kriging, and Weighted Sum Models: Example of Capakcur, Yesilkoy, and Yamac Microcatchments. Environmental Monitoring and Assessment, 193(8).
- Mızraklı, C., 2023. CBS ve Uzaktan Algılama ile Taşkın Duyarlılık Analizi; Batı Karadeniz Örneği. İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 97 s, İstanbul.
- MGM, 2023. İllere Ait İstatistikî Yağış Verileri. Meteoroloji Genel Müdürlüğü, <https://www.mgm.gov.tr/>, Erişim Tarihi 12.12.2023.
- MGM, 2022. Türkiye Meteorolojik Afetler Değerlendirmesi (2010-2021). Meteorolojik Afetler Şube Müdürlüğü, Ankara.
- MTA, 2002a. Çalışma Alanına Ait 1/100.000 Ölçekli Jeoloji Haritası, Zonguldak F-28, F-29 Paftaları. Maden ve Tetkik Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- MTA, 2002b. Çalışma Alanına Ait 1/100.000 Ölçekli Jeoloji Haritası, Bolu G-28, G-29 Paftaları. Maden ve Tetkik Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- MTA, 2010. Çalışma Alanına Ait 1/100.000 Ölçekli Jeoloji Haritası, Kastamonu D-30, E-30, F-30 Paftaları. Maden ve Tetkik Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- MTA, 2011. Çalışma Alanına Ait 1/100.000 Ölçekli Jeoloji Haritası, Çankırı G-30 Paftası. Maden ve Tetkik Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Myers, J.H., Alpert, M.I. 1968. Determinant Buying Attitudes: Meaning and Measurement. Journal of Marketing, 32(4), 13-20.
- Nistor, M.M., 2019. Vulnerability of Groundwater Resources under Climate Change in the Pannonian Basin. Geo-Spatial Information Science, 22(4), 345-358.
- Ortaç, G., 2019. Filyos Çayı Havzası'nın (Karabük-Gökçebeğ) Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi Yardımıyla Taşkın Risklerinin Belirlenmesi. Karabük Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 124 s. Karabük.
- Oğuz, E., Oğuz, K., Öztürk, K., 2022. Düzce Bölgesi Taşkın Duyarlılık Alanlarının Belirlenmesi. Geomatik, 7(3), 220-234.
- Poussin, J.K., Botzen, W.W., Aerts, J.C., 2014. Factors of Influence on Flood Damage Mitigation Behaviour by Households. Environmental Science Policy, 40, 69-77.
- Rahmati, O., Zeinivand, H., Besharat, M., 2016. Flood Hazard Zoning in Yasooj region, Iran, Using GIS and Multi-Criteria Decision Analysis. Geomatics, Natural Hazards and Risk, 7(3), 1000-1017.
- Selvam, R.A., Jebamalai A.R.A., 2023. Application of the Analytical Hierarchy Process (AHP) for Flood Susceptibility Mapping Using GIS Techniques in Thamirabarani River Basin, Srivaikundam Region, Southern India, Natural Hazards, Journal of the International Society for the Prevention and Mitigation of Natural Hazards, Springer; International Society for the Prevention and Mitigation of Natural Hazards, 118(2), 1065-1083, September.
- Saaty, T. L., 1980. The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation. Mc Graw-Hill, New York, 19.
- Saaty, T. L., 1990. How to Make a Decision: the Analytic Hierarchy Process. European Journal of Operation Research, 48, 9-26.
- Sahana, M., Patel, P.P., 2019. A Comparison of Frequency Ratio and Fuzzy Logic Models for Flood Susceptibility Assessment of the Lower Kosi River Basin in India. Environmental Earth Sciences, 78, 1-27.
- Seejata, K., Yodying, A., Wongthadam, T., Mahavik, N., Tantane, S., 2018. Assessment of Flood Hazard Areas Using Analytical Hierarchy Process Over the Lower Yom Basin, Sukhothai Province. Procedia Engineering. 212, 340-347. [10.1016/j.proeng.2018.01.044](https://doi.org/10.1016/j.proeng.2018.01.044).
- Souissi, D., Zouhri, L., Hammami, S., Msaddek, M.H., Zghibi, A., Dlala, M., 2020. GIS-based MCDM-AHP Modeling for Flood Susceptibility Mapping of Arid Areas, Southeastern Tunisia. Geocarto International, 35(9), 991-1017.
- Swain, K. C., Singha, C., Nayak, L., 2020. Flood Susceptibility Mapping through the GIS-AHP Technique Using the Cloud. ISPRS International Journal of Geo-Information, 9(12), 720.
- SYGM, 2019. Batı Karadeniz Havzası Taşkın Yönetim Planı. Tarım ve Orman Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, Ankara.
- SYGM, 2023. Batı Karadeniz Havzası Kuraklık Yönetim Planı. Tarım ve Orman Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, Cilt 1, Ankara.
- Tokgözlü, A., Özkan, E., 2018. Taşkın Risk Haritalarında AHP Yönteminin Uygulanması: Aksu Çayı Havzası Örneği. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Sosyal Bilimler Dergisi, (44), 151-176.
- TÜİK, 2023. Nüfus İstatistikleri Portalı. Türkiye İstatistik Kurumu, <https://data.tuik.gov.tr/> Erişim Tarihi: 27.12.2023.
- USGS, 2023. Earth Data and Digital Elevation Model (DEM) for Karabük Province. United States Geological Survey. <https://www.usgs.gov/> Erişim Tarihi: 7.12.2023.



VIBRATION-BASED MEASUREMENT SYSTEM FOR BREAST TISSUE

Mehmet Ümit AK¹, Gürkan BİLGİN², Dilek KAYA³, Süleyman BİLGİN^{4*}, Adnan KAYA⁵

¹ Antalya Bilim University, Vocational School, Computer Programming Department, Antalya, Turkey

² Burdur Mehmet Akif Ersoy University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Electrical & Electronics Engineering, Burdur, Turkey

³ İzmir Katip Celebi University, Biomedical Test Calibration Application and Research Center, İzmir, Turkey

⁴ Akdeniz University, Faculty of Engineering, Department of Electrical & Electronics Engineering, Antalya, Turkey

⁵ İzmir Katip Celebi University, Faculty of Engineering, Department of Electrical & Electronics Engineering, İzmir, Turkey

Keywords

*Breast Tissue,
Vibration Signal,
Accelerometer Sensor,
Power Spectral.*

Abstract

When the studies in the literature on breast tumor diagnosis are examined, there are many studies because breast tissues have different characteristics. However, there is no study on the diagnosis of the tumor by constant frequency vibration stimulation and the response of healthy and tumorous breast tissues to this stimulation. This study, fixed frequency vibration was applied to the points determined on breast tissues and it was aimed to design a system that can measure vibration signals at certain distances from these points. The first part of the system consists of a motor and a driver that provides vibration. The other part includes accelerometer sensors that measure vibrations at certain points in the breast tissues. The hardware is controlled by a microcontroller-based module. With the help of this designed device, the power spectra of the vibration signals obtained by measurements on breast phantom models were analyzed. In response to 160 Hz vibration excitation, the dominant frequencies of the signals measured at a certain distance with the accelerometer sensor were found to be in the range of 120-140 Hz. These results show the damping effect of breast tissue and that the damping effect may differ between tumor and healthy tissues.

MEME DOKUSU İÇİN TİTREŞİM TABANLI ÖLÇÜM SİSTEMİ

Anahtar Kelimeler

*Meme Dokusu,
Titreşim Sinyali,
İvmeölçer Sensörü,
Güç Spektrali.*

Öz

Meme tümörünün teşhisine yönelik literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, meme dokularının farklı karakteristikler taşıdığı olgusuna dayanan birçok çalışmaya rastlanmaktadır. Ancak sabit frekanslı titreşim uyarıtımı ile sağlıklı ve tümörlü meme dokularının bu uyarıtıma vereceği tepki sayesinde tümörün teşhisine yönelik bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmada, meme dokuları üzerinde belirlenen noktalara, sabit frekansta titreşim uygulanmış ve bu noktalardan belirli uzaklıklarda titreşim sinyallerini ölçebilen sistem tasarımı amaçlanmıştır. İlgili sistemin ilk kısmı, titreşim sağlayan bir motor ve sürücünden oluşmaktadır. Diğer kısmı ise, meme dokularındaki belirli noktalarda titreşimleri ölçen ivmeölçer sensörlerini içermektedir. Donanımın kontrolü ise, mikrodenetleyici tabanlı modül ile gerçekleştirilmektedir. Tasarlanan bu cihaz yardımıyla, meme fantom modelleri üzerinden elde edilen ölçümlerle alınan titreşim sinyallerinin güç spektrumları incelenmiştir. 160 Hz. titreşim uyarıtımına karşılık, ivmeölçer sensörü ile belirli bir mesafeden ölçülen sinyallerin baskın frekanslarının 120-140 Hz. aralığında olduğu görülmüştür. Bu sonuçlar, meme dokusunun sönümleyici etkisini ve sönümleme etkisinin tümörlü ve sağlıklı dokularda farklılık olabileceğini göstermektedir.

Alıntı / Cite

Ak, M.U., Bilgin, G., Kaya, D., Bilgin S., Kaya A., (2024). Vibration-Based Measurement System for Breast Tissue, Journal of Engineering Sciences and Design, 12(2), 319-327.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

M.U. Ak, 0000-0002-7231-0265
G. Bilgin, 0000-0002-8441-1557
D. Kaya, 0000-0001-9565-0011
S. Bilgin, 0000-0003-0496-8943
A. Kaya, 0000-0002-9943-6925

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	31.12.2023
Revizyon Tarihi / Revision Date	01.03.2024
Kabul Tarihi / Accepted Date	01.04.2024
Yayın Tarihi / Published Date	30.06.2024

* İlgili yazar / Corresponding author: suleymanbilgin@akdeniz.edu.tr, +90 242 310 6388

VIBRATION-BASED MEASUREMENT SYSTEM FOR BREAST TISSUE

Mehmet Ümit AK¹, Gürkan BİLGİN², Dilek KAYA³, Süleyman BILGIN^{4†}, Adnan KAYA⁵

¹ Antalya Bilim University, Vocational School, Department of Computer Programming, Antalya, Turkey

² Burdur Mehmet Akif Ersoy University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Electrical & Electronics Engineering, Burdur, Turkey

³ Izmir Katip Celebi University, Biomedical Test Calibration Application and Research Center, Izmir, Turkey

⁴ Akdeniz University, Faculty of Engineering, Department of Electrical & Electronics Engineering, Antalya, Turkey

⁵ Izmir Katip Celebi University, Faculty of Engineering, Department of Electrical & Electronics Engineering, Izmir, Turkey

Highlights

- A new measurement system has been proposed for breast tissue that allows measurement with the help of fixed frequency vibration stimulation.
- This system provides 3-axis measurement and analyzes the vibration signals it measures, showing the damping effect of breast tissues on fixed-frequency vibration stimulation.
- Vibration signals measured with the designed vibration-based measurement system and GUI can be recorded and analyzed.

Purpose and Scope

The aim of the study was to design a system that can apply vibration at a fixed frequency to determined points on healthy or tumor breast tissues and measure the vibration signal at certain distances from the applied point. In addition, it is aimed to create a user interface that can analyze the vibration signals measured by this system.

Design/methodology/approach

Based on the aim of interpreting that breast tissues have different characteristics; a device was designed to receive vibration signals with the Arduino Uno R3-based ADXL345 accelerometer sensor. With the help of this device, the vibration signals received from the breast tissues were recorded in the GUI designed in the computer environment.

Findings

Values in the range of 120-140 Hz were obtained in the power spectra of the vibration signals taken from points determined at equal distances from a vibration motor that creates a fixed frequency excitation of 160 Hz. It can be said that the dominant frequencies in healthy and tumor breast tissues can be determined and information about soft and hard tissues can be obtained thanks to the designed vibration-based measurement system.

Research limitations/implications

Thanks to this proposed system, the frequency characteristics of breast tissues can be interpreted and it is anticipated that in future studies, interpretations of the conductivity and hardness of the tissues may assist the physician in the diagnosis of tumor tissues.

Practical implications

It has been observed that with this proposed system, the presence of a tumor can be interpreted by measuring the frequency characteristics of different breast tissues.

Originality

This study shows the behavior of breast tissue with constant frequency vibration stimulation and helps to interpret hardness and softness.

[†] Corresponding author: suleymanbilgin@akdeniz.edu.tr, +90 242 310 6388

1. Introduction

It is known that the tissues in the human body show different characteristics and various studies have been conducted to explicate these differences. In these studies, vibration signals received from people have been utilized and it has been concluded that they can help detect various types of diseases (Addison, 2017). In the studies, vibration signals that occur in the vocal cords during speech are generally examined, and there is no study on vibration signals recorded by applying a vibration source on the human body (Addison, 2017; Chen and Shih, 2013; Ak et al., 2019; Alkhaledi, 2010). Chen et al. investigated whether vocal training would increase facial bone vibration during resonant (high frequency and reverberant) sound production. They measured the vibration level of the face after training and during speech with a piezoelectric accelerometer and compared it with the vibrations in the voice (Chen and Shih, 2013). Based on vibration signals, it is revealed that it can help in the diagnosis of sleep apnea disease as well as modeling of nasal diseases (Morillo et al., 2010). In their study, Rendon et al. measured vibrations in the neck and chest region with an accelerometer to detect important signals that can be used in the diagnosis of sleep apnea. They aimed to diagnose sleep apnea by creating a vibration map by interpreting the signals they received with an advanced analysis program (Rendon, 2007). It is also possible to explain the effects of vibration sources on different human tissues (Amar, 2010; Anand et al., 2008). Dong et al. proposed a system called VEA to study the distribution of vibration energy absorption in the human finger-hand-arm system (Dong et al., 2006). Balbinot proposed the development of a system integrated into the ZigBee network to measure human vibration. The developed system allowed to separate human vibrations of about 40 Hz in three axes. They showed that vibration can contribute to back pain in workers working on machines such as tractors and diggers (Balbinot et al., 2008). Bourke et al. analyzed the signals received from triaxial accelerometer sensors mounted on the torso and thighs of elderly people. Thanks to these signals, they interpreted the simulated fall patterns they created. By giving various trainings to the same people, they aimed to see the success of their training by evaluating the fall patterns after the training (Bourke et al., 2007).

A literature review was conducted on the importance of analyzing vibration signals related to the diagnosis of breast tumors. When the studies in the literature are examined, it is seen that there are alternative methods for breast tumor diagnosis. One of these methods, which is usually image-based, is the elastography method. This method is an imaging method that displays and characterizes the elastic properties of normal and abnormal human tissues and identifies differences in elastic properties between tissues (Zhou et al., 2017). The basic fact here is that tumor breast tissue is 400 - 1000% stiffer than healthy breast tissue (Samani et al., 2008).

This study is based on the knowledge that human tissues show different characteristics as seen in the literature and that vibration signals recorded from human tissues can help in the detection of various types of diseases to interpret these differences. In their study, investigated simulation techniques by performing whole body vibration analysis (Coyle et al., 2015). Their study is presented as a review of the literature on various topics, including recent work on modeling the biodynamic human sitting response to vibrations. In addition to this study, there are studies describing the effects of vibration sources on different human tissues (Peter et al., 2013; Zhi-Fei et al., 2009; Yanxi and Qingxia, 2010; Kitamura, 2012). Investigated the damping properties of tissues against vibrations applied to the human body. The main purpose of their study was to reveal the damping properties of human tissues, spring, and damping constants of tissues (Amar et al., 2010). In another related study, similarly, spring, and damping models of tissues were developed to predict the damping properties of human tissues (Alkhaledi, 2010). When other similar studies in the literature were examined, it was seen that it was possible to explain the different effects of vibration sources on different human tissues (Coyle et al., 2015; Kitamura, 2012). In addition, they stated that vibration signals obtained by applying a constant frequency vibration source to human tissue can provide better information (Torvinen et al., 2002). In their study, they analyzed the vibration signals from 9 different points on the human face, which were determined at equal distances from a DC vibration motor generating constant frequency excitation. As a result, they detected different frequency damping in the forehead and cheek regions and concluded that different frequency signals were observed due to the different damping effect of hard and soft tissues (Ak et al., 2020). When the studies on the diagnosis of breast tumor and the analysis of vibration signals in the literature were examined, it was observed that there was no study on the softness and hardness interpretation of phantom models excited by a constant frequency vibration source. In addition, when other methods used in the diagnosis of breast tumors are evaluated, these methods have harmful effects on the human body. Therefore, there is a need to develop a cost-effective method that does not harm the human body (Valero et al., 2021).

In this study, a system consisting of a vibration motor that provides vibration excitation at constant frequency, Micro-electro-mechanical system (MEMs) accelerometer sensor and microcontroller-based hardware is designed. Vibration signals are generated by the vibration motor that will provide constant frequency excitation, and these vibration signals are measured from measurement points at certain distances by means of MEMs accelerometer sensors and drivers. The control of this hardware is realized with a microcontroller-based module. The vibration

signals were recorded with the communication protocol between the interface created on the computer and the microcontroller. The power spectra of these vibration signals were analyzed with the help of the designed interface and analysis software. As a result of the analysis, the frequency characteristics of the vibration signals received from breast tissues were revealed. As a result, the frequency characteristics obtained are aimed to provide the interpretation of hard and soft regions in living tissues.

2. Material and Method

The components of the designed microcontroller-based system are listed below.

- Arduino Uno R3
- ADXL345 Accelerometer Sensor
- DC Vibration Motor Module
- SD card Module and SD Card

A sample image of the Arduino Uno R3 model used in this study is shown in Figure 1 (Cakir et al., 2021). The development board, which has an ATmega 328 based microprocessor, has 14 digital inputs/outputs and 6 analog inputs. It has a 16 MHz crystal oscillator, USB connection, power connection, ICSP connection and reset button. The board must be powered from an external power supply or the computer's USB port in order to operate.



Figure 1. Arduino uno R3

MEMS technology-based sensors are widely used in various fields, particularly in biomedical applications. The MEMS-based ADXL345 accelerometer sensor is a 3-axis accelerometer capable of 13-bit resolution measurement up to ± 16 g. In addition to providing high accuracy with low power consumption, it supports digital communication protocols such as I²C and SPI. It works in different acceleration measurement ranges such as ± 2 g, ± 4 g, ± 8 g or ± 16 g (Böğrek and Sümbül, 2021). Within the scope of the study, the data received from the ADXL345 sensor was read by Arduino Uno R3 with I²C communication. The connection pins of the accelerometer sensor with Arduino Uno R3 are shown in Table 1.

Table 1. Arduino uno R3 and ADXL345 accelerometer sensor connection pins

Arduino Uno R3	ADXL345 İvmeölçer Sensörü
5 V	VCC
GND	GND
Analog A4	SDA
Analog A5	SCL

In this study, a 10x3 cm DC vibration motor was used as a constant frequency vibration source. Technical specifications of the vibration motor module used in the study are given in Figure 2 (Anonymous, 2023). The frequency of the DC vibration motor was set to a voltage value corresponding to 160 Hz according to the datasheet in Figure 2 with the help of the Arduino IDE interface. The reason for this is that the vibration frequency to be applied to living tissues should be in the range of 20 - 200 Hz. When frequencies in this range were tested, 160 Hz was found to be the resonance frequency of the tissue (Oral et al., 2022).

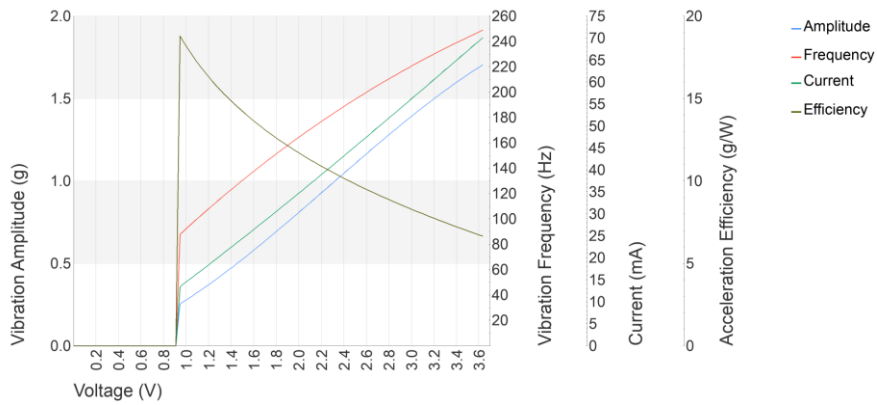


Figure 2. Technical specifications of the vibration motor module

The block diagram of the microcontroller-based vibration-based measurement system for breast tumor diagnosis, designed by combining all components, is shown in Figure 2 and the designed system image is shown in Figure 3.

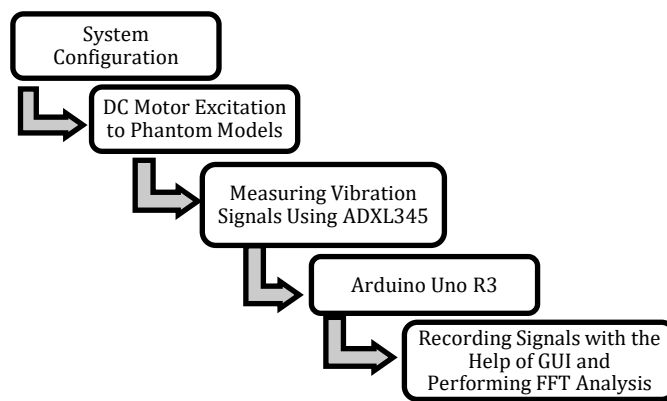


Figure 3. Vibration based measurement system flow chart

When the flowchart of the system is examined, it is seen that firstly, vibration excitation is given to the phantom models with a DC motor at constant frequency, and then measurements are made with the ADXL345 accelerometer sensor at certain distances. The measured vibration signals were transferred to the computer environment with the help of Arduino Uno R3, recorded and analyzed with the help of GUI. The block diagram of the vibration-based measurement system including components such as ADXL345 accelerometer, SD card module, Arduino Uno R3, vibration motor module is shown in detail in Figure 4.

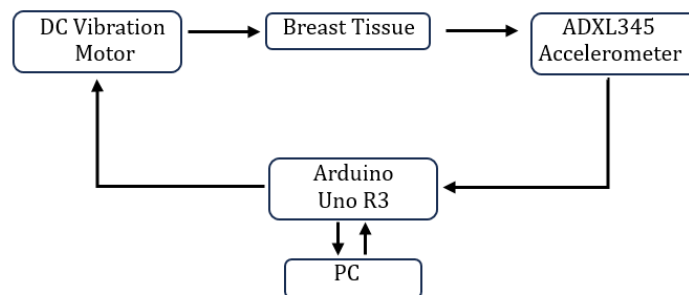


Figure 4. System block diagram

In breast phantom models, studies have been conducted with materials that can accurately mimic the dispersive dielectric properties of human tissues such as skin, fat, and tumors. As in the studies in the literature, vibration signals were measured on phantom models to show dielectric properties similar to actual breast tissues (Boparai and Popović, 2022; Murat et al., 2021; Palandoken et al., 2022).

In the literature, it has been observed that there are systems designed for the measurement of vibration effect in living tissues (Ak et al., 2019). In their study they used the MPU6050 sensor as an accelerometer sensor and offered the possibility of measuring from different points with a single sensor (Ak et al., 2020). In this study, the ADXL345

accelerometer sensor was chosen due to its low power consumption and focus on simple 3-axis acceleration measurement. In addition, the ADXL345 accelerometer sensor was chosen due to its widespread use in biomedical applications, low power consumption and ideal for portable devices. When the general specification parameters of the ADXL345 accelerometer sensor are examined, it can be said that it is preferred due to its low cost, triaxial and digital data processing, sensitivity, and nonlinearity (Böğrek and Sümbül, 2021). Moreover, these sensors work to detect motion or vibration by generating an acceleration value. And it has an A/D converter and a digital filter.

The image of the vibration-based measurement system realized within the scope of the study is shown in Figure 5.

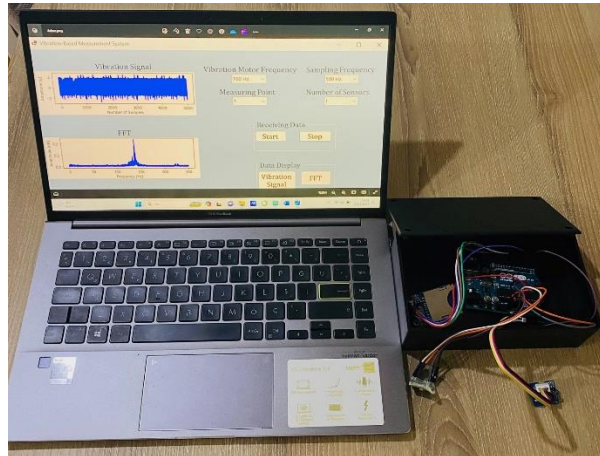


Figure 5. Image of a realized vibration-based measurement system

In addition, this system, which will enable measurements from different points on the breast tissue, will pave the way for multi-channel measurement, allowing the detection of the tumor area.

3. Experimental Results

3.1 Measurement and Computerization of Vibration Signals

ADXL345 accelerometer sensor can sample between 0.1 Hz and 3200 Hz. When the studies on vibration analysis are examined, besides the studies (Stork et al., 2017) in which the sampling frequency is 500 Hz, the sampling frequency was determined as 500 Hz, considering that the vibration motor frequency is 100-160 and 200 Hz. Thus, in the data set obtained with vibration signals obtained from breast tissues in the study, 10 s data with 5000 samples were measured and recorded with the help of SD card module.

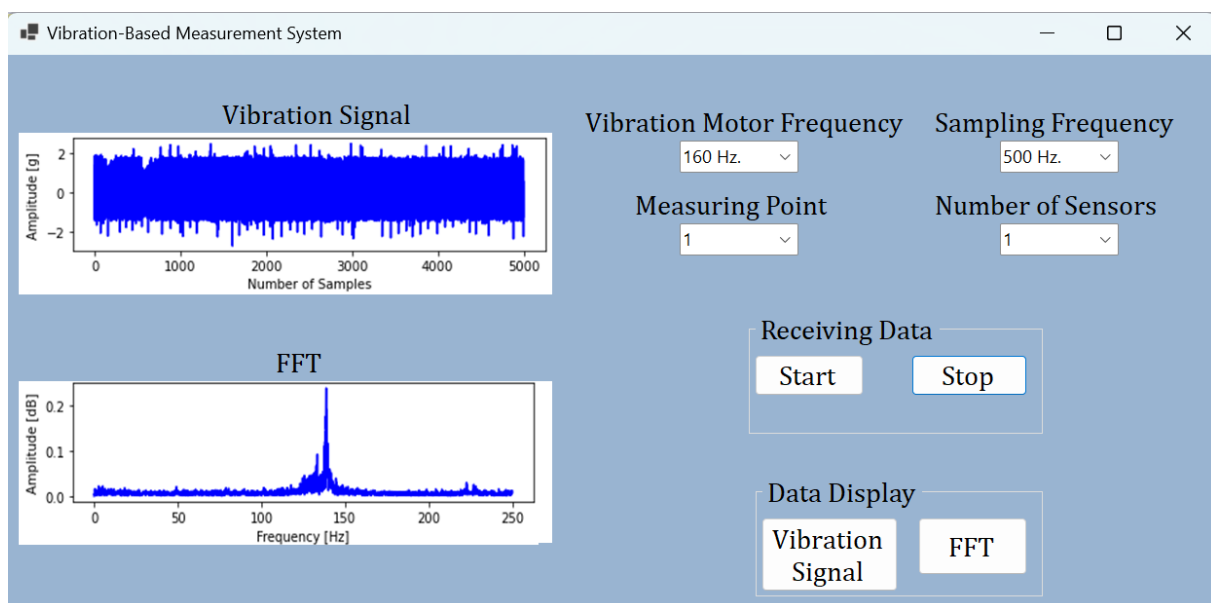


Figure 6. Interface designed for vibration-based system

A 10x3 mm direct current motor unit with a frequency of 160 Hz. and a microcontroller-based hardware consisting of a sensor module at a fixed distance from this unit, which provides vibration excitation at a frequency of 160 Hz. an interface has been designed to communicate this hardware with the computer and analyze the signals obtained. This designed interface is shown in Figure 6.

Vibration data was taken with the ADXL345 accelerometer sensor over the measurement points determined in the breast tissues and transferred to Arduino Uno R3. The received vibration data were parsed with the Arduino Uno R3 software and transferred to the computer as x-y-z values. The R vector is the combined force vector of the x-y-z values acting on the acceleration sensor and is shown in (1). The resultant of the x-y-z values taken from the accelerometer sensor was taken and the data set was obtained in this way. (Böğrek and Sümbül, 2021; Oral et al., 2022).

$$R = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \quad (1)$$

A vibration signal composed of 5000 samples combined is shown in Figure 6. The Fast Fourier Transform (FFT) of the signals was used to analyze these vibration signals.

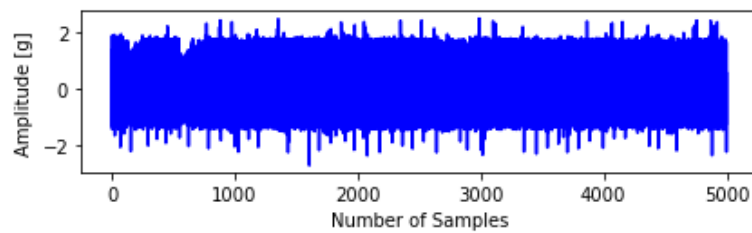


Figure 7. Received sample vibration signal

3.2 Power Spectral Representation of Vibration Signals

FFT was used to analyze the obtained vibration signals. The Fourier transform is an important method for obtaining signal information and processing these signals. However, since the Fourier transforms of real sequences cannot be calculated theoretically, it is not appropriate to use the Fourier transform for digital signals. The analog representation of frequency and the infinite number of samples required are the main reasons for this inconvenience. For this reason, a more practical method, the Discrete Fourier Transform (DFT), is used. A generalized version of the DFT is shown in Equation 2 (Chen and Shih, 2013).

$$x(e^{j\omega}) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(n) e^{-j\omega n} \quad (2)$$

In this study, power spectral density analysis of all vibration signals was performed. Figure 8 shows the power spectral density (PSD) of a sample of vibration signals measured at a certain distance in response to vibration stimulation applied to breast tissues. The vertical axis indicates the power spectral density of the vibration signals, and the horizontal axis indicates the frequency values.

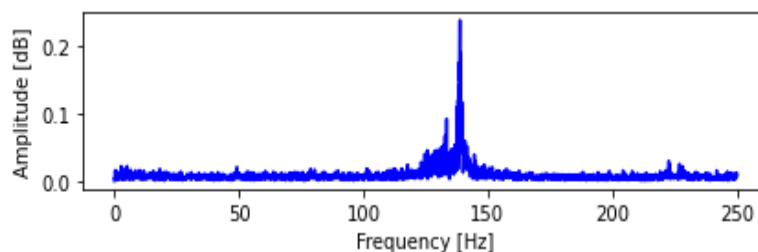


Figure 8. Power spectral representation of received vibration signal

When the power spectra of the received vibration signals were examined, it was observed that the frequencies of the signals measured at a certain distance with the accelerometer sensor were in the range of 120-140 Hz, in response to the vibration excitation given as 160 Hz. This showed the damping effect of the breast tissue. It is thought that this damping effect may differ in tumor and healthy tissues and these differences may provide information about the presence of tumors.

4. Result and Discussion

Unlike the studies in the literature on the analysis of vibration signals and breast tumor diagnosis, in this study, a

device was designed based on Arduino Uno R3 with ADXL345 accelerometer sensor to receive vibration signals to interpret that healthy and tumor tissues have different characteristics. With the help of this device, the vibration signals received from breast tissues were recorded in the computer environment with an SD card module. The received vibration signals were filtered to remove noise and power spectra were obtained with the help of signal processing methods.

In future studies, it is thought that the number of sensors can be increased, and tumor regions can be detected with more detailed analysis to be performed with the simulation program. Therefore, in this study, the systems that are given vibration stimulation and measure the vibration signals thanks to the sensor placed at a certain distance are separated.

When the results obtained are examined, values in the range of 120-140 Hz were obtained in the power spectra of vibration signals obtained from points determined at equal distances from a vibration motor generating a constant frequency excitation of 160 Hz. It was possible to determine the dominant frequencies in healthy and tumorous breast tissues and thus, it could be said that information about soft and hard tissues could be obtained thanks to the microcontroller-based system designed. In future studies, it is foreseen that the conductivity and hardness interpretations of the tissues can help the physician in the diagnosis of tumor tissues in the studies to be carried out on breast tissues thanks to this system.

Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

References

- Addison, P.S. 2017. "The Illustrated Wavelet Transform Handbook: Introductory Theory and Applications in Science, Engineering, Medicine and Finance", CRC Press: Boca Raton, FL, USA.
- Ak, M.U., Bilgin, S., Oral, O., Carlak, H.F., Derin, A.T. and Derin, N. 2020. "Evaluation of Vibration Measurements on The Human Face Using Median and Maximum Frequencies", *IET Science, Measurement & Technology*, 14(8), 853-856.
- Ak, M.U., Bilgin, S., Oral, O., Cetin, E., Carlak, H.F., Derin, A.T. and Derin, N. 2019. "A New System Design for Measuring Vibration Effect in Live Tissues", 2019 Medical Technologies Congress (TIPTEKNO), IEEE, 1-4.
- Alkhaledi, K. 2010. "Human response to soft tissue impact", Doktora Tezi, University of Nebraska, The Graduate College, Lincoln, Nebraska.
- Amar, M.R. 2010. "Estimation of mechanical properties of soft tissue subjected to dynamic impact", Yüksek Lisans Tezi, University of Nebraska, The Graduate College, Lincoln, Nebraska.
- Anand, P., Kunnumakar, A.B., Sundaram C., Harikumar, K.B., Tharakan, S.T., Lai, O. S. Sung, B. and Aggarwal B.B. 2008. "Cancer is a Preventable Disease that Requires Major Lifestyle Changes", *Pharmaceutical Research*, 25, 2097-2116.
- Anonymous, 2023 www.precisionmicrodrives.com/product/datasheet/310-103-10mm-vibration-motor-3mm-type-datasheet.pdf, accessed 01 December 2023.
- Balbinot, A., Marilda S. C., Diogo K.: 'Zigbee network for measurement of human vibration.' Computational Science and Engineering Workshops. 11th IEEE International Conference on. IEEE, 2008.
- Boparai, J., and Popović, M. 2022. Heterogeneous skin phantoms for experimental validation of microwave-based diagnostic tools. *Sensors*, 22(5), 1955.
- Böğrek, A., and Sümbül, H. 2022. A Novel Engine Vibration Measurement System based on the MEMS Sensor. *International Journal of Automotive Science and Technology*, 6(4), 357-363.
- Bourke, A. K., J. V. O'brien and G. M. Lyons. 2007. Evaluation of a threshold-based triaxial accelerometer fall detection algorithm. *Gait & posture* 26.2: 194-199.
- Cakir, M., Guvenc, M. A. and Mistikoglu, S. 2021. "The Experimental Application of Popular Machine Learning Algorithms on Predictive Maintenance and The Design of IIoT Based Condition Monitoring System", *Computers & Industrial Engineering*, 151, 106948.
- Chen, R.K., and Shih, A.J. 2013. "Multi-Modality Gellan Gum-Based Tissue-Mimicking Phantom with Targeted Mechanical, Electrical, and Thermal Properties", *Physics in Medicine & Biology*, 58(16), 5511.
- Dong, R. G., Schopper, A. W., McDowell, T. W., Welcome, D. E., Wu, J. Z., Smutz, W. P., Rakheja, S.: 'Vibration energy absorption (VEA) in human fingers-hand-arm system.' *Medical engineering & physics*, 2006, 26(6), 483-492.
- Engineering, Medicine, and Finance", CRC Press.
- Kitamura, T. 2012. "Measurement of Vibration Velocity Pattern of The Facial Surface During Phonation Using Scanning Vibrometer", *Acoustical Science and Technology*, 33(2), 126- 128.
- Morillo, D. S., Ojeda, J. L. R., Foix, L. F. C., and Jiménez, A.L. 2010. "An accelerometer-based device for sleep apnea screening", *IEEE Transactions On Information Technology In Biomedicine*, 14(2), 491-499.
- Murat, C., Palandoken, M., Kaya, I., and Kaya, A. 2021. A novel ISM band reflector type applicator design for microwave ablation systems. *Electromagnetic biology and medicine*, 40(2), 286-300.
- Oral, O., Bilgin, S., and Ak, M. U. 2022. Evaluation of vibration signals measured by 3-Axis MEMS accelerometer on human face using wavelet transform and classifications. *Tehnički vjesnik*, 29(2), 355-362.
- Palandoken, M., Murat, C., Kaya, A., and Zhang, B. 2022. A novel 3-D printed microwave probe for ISM band ablation systems of breast cancer treatment applications. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 70(3), 1943-1953.
- Peter, J.H., Podszus, T. ve Wichert, P. 2013. "Sleep-Related Disorders and Internal Diseases", Springer Science and Business

Media.

- Rendon, D.B.: 'Mapping the human body for vibrations using an accelerometer.' Engineering in Medicine and Biology Society, 2007. EMBS. 29th Annual International
- Samani A., Zubovits, J. ve Plewes, D. 2007. "Elastic Moduli of Normal and Pathological Human Breast Tissues: An Inversion-Technique-Based Investigation of 169 Samples", *Physics in Medicine and Biology*, 52, 1565.
- Stork, M., Weissar, P., Kosturik, K., Novak, J. ve Zeman, V. 2016. "Use of accelerometer for walk-run or shot analysis for sport and rehabilitation purposes", In 2016 International Conference on Applied Electronics, IEEE, 261-264.
- Torvinen, S., Kannus, P., Sievänen, H., Järvinen, T.A.H., Pasanen, M., Kontulainen, S., Järvinen T.L.N., Järvinen, M., Oja P., Vuori, I. 2002. "Effect of a Vibration Exposure on Muscular Performance and Body Balance", *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 22(2), 145-152.
- Valero, M., Li, F., Zhao, L., Zhang, C., Garrido, J. and Han, Z. 2021. "Vibration Sensing-Based Human and Infrastructure Safety/Health Monitoring: A Survey", *Digital Signal Processing*, 114, 103037.
- Yanxi, R. ve Qingxia, L. 2010. "Implementation of Human Vibration Test and Evaluation System Based on A Virtual Instrument", *International Conference on Mechanic Automation and Control Engineering*, 2430-2435.
- Zhi-Fei, Z., Zhong, X., ve Yansong, H. 2009. "Design of Measurement and Evaluation System for Human Exposure to Mechanical Vibration", 9. *International Conference on Electronic Measurement & Instruments*, 504-508.
- Zhou, C., Chase, J.G., Ismail, Rodgers, G.W., Pretty, C., Signal, M. ve Haggars, M. 2017. "A Surface Vibration-based Method for Tumor Detection of Women Breast in a DIET System", *Procedia Engineering*, 199, 310-315.



INCEPTION SH: A NEW CNN MODEL BASED ON INCEPTION MODULE FOR CLASSIFYING SCENE IMAGES

Sedat METLEK^{1*}, Halit ÇETİNER²

¹ Burdur Mehmet Akif Ersoy University, Vocational School of Technical Sciences, Burdur, Türkiye

² Isparta University of Applied Sciences, Vocational School of Technical Sciences, Isparta, Türkiye

Keywords

Deep Learning,
Computer Vision,
CNN,
Scene Classification,
UAV.

Abstract

In this study, a light-weight model with an optimum block structure that can be used in autonomous unmanned aerial vehicles (UAVs) was designed. The Inception SH model, which was developed based on the Inception V3 model, was compared on "Intel Image Dataset", a publicly available dataset in the literature. As a result of the comparison, values of 0.882, 0.883, 0.882 and 0.882 were obtained for the accuracy, precision, recall, and F1 score metrics for the Inception V3 model, respectively. In the Inception SH model, values of 0.958, 0.957, 0.974 and 0.967 were obtained for accuracy, precision, recall and F1 score metrics, respectively. As can be seen from these values, the proposed Inception SH model offers higher performance values than the underlying Inception V3 model. The Inception SH model was compared with different models in the literature using the same data set and was superior in accuracy, precision, recall and F1 score metrics compared to the compared models. According to the results obtained, it is predicted that the Inception SH model can be used as a lightweight model in various IoT devices, considering the popularity of autonomous UAVs.

INCEPTION SH: SAHNE GÖRÜNTÜLERİNİN SINIFLANDIRILMASINDA INCEPTION MODÜL TABANLI YENİ BİR CNN MODELİ

Anahtar Kelimeler

Derin Öğrenme,
Bilgisayarla Görü,
CNN,
Sahne Sınıflandırma,
İHA.

Öz

Bu çalışmada otonom insansız hava araçlarında (İHA) kullanılabilecek optimum seviyede blok yapısına sahip hafif ağırlıklı bir model tasarlanmıştır. Inception V3 modeli temel alınarak geliştirilen Inception SH modeli, literatürde halka açık bir veri seti olan "Intel Image Dataset" üzerinde karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda Inception V3 modeli için doğruluk, kesinlik, geri çağırma ve F1 skoru metrikleri için sırasıyla 0,882, 0,883, 0,882 ve 0,882 değerleri elde edilmiştir. Inception SH modelinde ise doğruluk, kesinlik, geri çağırma ve F1 skoru metrikleri için sırasıyla 0,958, 0,957, 0,974 ve 0,967 değerleri elde edilmiştir. Bu değerlerden de anlaşılacağı üzere, önerilen Inception SH modeli, temel alınan Inception V3 modeline göre daha yüksek performans değerleri sunmaktadır. Inception SH modeli aynı veri setini kullanan literatürdeki farklı modellerle de karşılaştırılmış ve karşılaştırılan modellere göre doğruluk, kesinlik, geri çağırma ve F1 skoru metriklerinde üstünlük sağlamıştır. Elde edilen sonuçlara göre, otonom İHA'ların popülerliği de göz önünde bulundurulduğunda, Inception SH modelinin çeşitli IoT cihazlarında hafif bir model olarak kullanılabileceği öngörülmektedir.

Alıntı / Cite

Metlek, S., Çetiner, H., (2024). Inception SH: A New Inception-Based CNN Model for Classification of Scene Images, Journal of Engineering Sciences and Design, 12(2), 328-344.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

S. Metlek, 0000-0002-0393-9908
H. Çetiner, 0000-0001-7794-2555

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	08.10.2023
Revizyon Tarihi / Revision Date	14.04.2024
Kabul Tarihi / Accepted Date	07.07.2024
Yayın Tarihi / Published Date	30.06.2024

* İlgili yazar / Corresponding author: sedatmetlek@mehmetakif.edu.tr, +90-248-213-4580

INCEPTION SH: A NEW CNN MODEL BASED ON INCEPTION MODULE FOR CLASSIFYING SCENE IMAGES

Sedat METLEK^{1†} Halit ÇETİNER²

¹ Burdur Mehmet Akif Ersoy University, Vocational School of Technical Sciences, Burdur, Türkiye

² Isparta University of Applied Sciences, Vocational School of Technical Sciences, Isparta, Türkiye

Highlights

- Inception SH, a new Inception-based deep learning model that automatically detects and classifies the environment of an autonomous UAV is proposed.
- A new thirteen-step deep learning model is proposed without using any lightweight pre-trained architectural model that can run on embedded systems.
- According to the accuracy, recall, precision, and F1 score metrics commonly used in the literature, the Inception SH model provides a better result by approximately 4% on the same data set.

Graphical Abstract

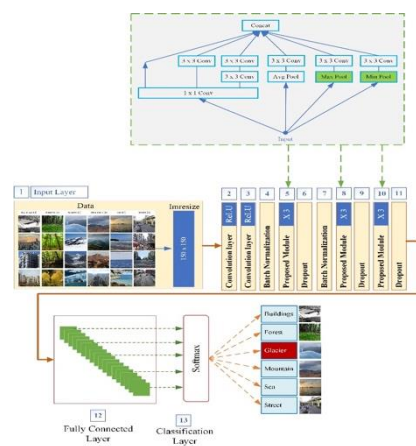


Figure. Inception SH model

Purpose and Scope

The purpose of the study is to develop a deep learning algorithm that allows UAVs to autonomously evaluate their environment and make decisions as a result. Another purpose of the study is that the developed architecture is lightweight and can work in many embedded systems.

Design/methodology/approach

The proposed Inception SH architecture was created with a CNN-based approach by developing Inception modules. In parallel with this, average, max, and min pooling operations were carried out by taking the input image directly. At this stage, the images were transferred directly to these filters and the $[1 \times 1]$ convolution process was not applied.

Findings

Inception SH model provided a superior performance result compared to studies performed using the same dataset. While the proposed model provides an average performance of 95%, the closest study in the literature achieved a performance value of 91%. It is obvious that the proposed model can be used on different platforms because it is lighter than many models in the literature. Considering the popularity of autonomous UAVs, it is anticipated that the Inception SH model, developed as a lightweight model, can also be used in IoT devices.

Originality

In this study, a deep learning model based on Inception V3 was developed that will enable UAVs to make instant decisions about the environment autonomously, independently of the operators using the images. Although the proposed system is based on the Inception V3 model, the performance difference is presented in detail. A comparison was made with other studies in the literature using the same dataset.

[†] Corresponding author: sedatmetlek@mehmetakif.edu.tr, +90-248-213-4580

1. Introduction

Today, Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) are used in a wide variety of applications, as they have proven to be both manned and autonomous in a variety of environments and missions (Yuan, Liu, & Zhang 2015; Menouar et al. 2017). As a result, it is known that UAV production has increased worldwide, as can be seen from the reports produced on the subject (Finnegan 2017; Grand View 2023). Especially when evaluated in terms of costs, it is seen that they are cost-effective systems compared to aircraft, satellite remote sensing systems, and other air vehicles (Matese et al. 2015).

When the studies conducted with UAVs are examined in general, it is seen that many different detection sensors coexist on UAVs, and they are used synchronously at the same time (Amarasingam et al. 2022). For example, it is seen that agricultural products can be classified with high accuracy with opto-electro and thermal cameras placed on the UAV (Shahi et al. 2023). But the important point here is that, unlike cameras, many sensors are used at the same time for accurate location and graduation. The first of these sensors that come to mind are acoustic sensors. Acoustic sensors are generally resistant to environmental conditions. But their limited effective range is extremely limited. They are therefore less widely used than cameras. In addition to these sensors, radar sensors are also used, which provide precise localization and have a much longer effective range than acoustic sensors. These sensors are not affected by environmental conditions like acoustic sensors.

The operators of the UAVs make instant decisions based on the data obtained from these sensors and direct the UAVs. In addition to the advantage of having many sensors on UAVs, there are also some disadvantages. Because information from many different sensors must be combined to produce a result. In many UAV systems today, warning signals are received from acoustic sensors and radar data, and maneuvers are performed by the operator after verification with images from the camera. This is the most important obstacle in the development of autonomous UAVs. Because while the information received from many different sensors can be evaluated clearly, this situation needs to be confirmed through the image taken from the cameras.

When an obstacle appears in front of the UAV, the acoustic sensor can detect the obstacle, but not what it is. For example, a very high antenna, a building or a mountain in front of the UAV cannot be clarified with the information received from the acoustic sensor. In such cases, it is essential to confirm what the obstacle is with the view from the cameras. Analysis of UAVs shows that extremely high-resolution images can be obtained. These images are usually sent immediately to the ground station, where they are analyzed by operators. Deep learning methods can be actively used to classify such images, even at a basic level. This is because it is a popular method that is also actively used in many other applications (Akbaý 2022; Çetiner and Metlek 2023; S Metlek and Çetiner 2023; Şenel and Şenel 2022; Tokmak 2022).

When examined in the literature, it is seen that such image analyses are increasing. In some of them, Zeggada and Melgani (Zeggada and Melgani 2017), and Moranduzzo et al. (Moranduzzo et al. 2015) developed a multi-label classification method for unmanned aerial vehicles using images from urban areas. The focus of this work is to develop a classification algorithm that allows a UAV to make inferences about its environment from instantaneous scene images captured by the camera instead of multi-label classification. For this purpose, a recent dataset containing different scene information from six different environments was used. Since the system is intended to be used in an autonomous system, an architectural model that can work on an embedded system has been developed. For this purpose, a new classification model has been developed based on the CNN architecture, which can also run on embedded systems in the basic literature.

The theory behind the proposed approach is to extract the distinctive features that define the basic characteristics of six different natural environments from the scene images and classify them with high accuracy. In this way, false object detections due to misperception of the scene can be avoided in future studies. For example, the aim is to eliminate illogical classification situations, such as encountering a building in a marine environment, so that the UAV can make more accurate decisions autonomously. In this study, a comprehensive study of scene classification has been carried out, which is the crucial point of the study. Researchers favoring this approach will also benefit in terms of resource management, such as time and memory (Grand View 2023).

The main contributions of this article to the literature include the following.

- Inception SH, a new Inception-based deep learning model that automatically detects and classifies the environment of the autonomous UAV, is proposed.
- A new deep learning model consisting of thirteen steps without using any light-weight pre-trained architectural model that can run on embedded systems is proposed.
- A new block structure is proposed based on Inception block structures.

- According to the accuracy, recall, precision, and F1 score metrics commonly used in the literature, the Inception SH model provides a better result by approximately 4% on the same dataset.

The following sections of the article are organized as follows. In the second section, studies in the literature on the subject are presented. In the third section, detailed information about the materials and methods used are given. In the fourth section, the performance results obtained using the proposed CNN model are presented in detail. In the last section, general evaluations are made in the light of the applied approach and the results obtained, and predictions for future studies are presented.

2. Related Works

The main point of focus in the study is that the UAV can classify its environment based on the images obtained from the camera. In the literature, this process is called scene classification. Scene classification is the general name for categorizing scenes in images. Unlike classical classification, scene classification is performed based on the objects in the background of the image. Low-level features have been used in scene classification for years, and some results can be obtained with these features. But despite years of progress, most approaches still fall short of performing at a level appropriate to a variety of real-world environments. Especially when this process is applied to UAVs with very high financial value, any negativity that may occur can cause a large amount of financial loss. There are also difficulties arising from the nature of the work (Huang, Pedoeem, and Chen 2018). However, regardless of the reason, increasing the performance level of scene classification is an essential issue. As a result of the widespread use of high-resolution satellite images, there have been advances in studies on solving the scene classification problem. Studies conducted in recent years in the literature to increase the performance level are briefly summarized below.

Shabbir et al. used a pre-trained CNN architecture called ResNet50 to assign class labels according to image contents (Shabbir et al. 2021). In the ResNet 50 architecture, they carried out automatic classification by making fine adjustments according to the class outputs of the dataset they used. Zou et al. developed a method that selects distinctive features in order to improve the success rate in classifying 2800 scene images consisting of seven categories (Zou et al. 2015). Tuia et al., investigated, tested, and compared the image scene classification method in detail with three active learning models in their work. In their study, they also shared some guidelines for choosing good classification methods for inexperienced users (Tuia et al. 2011). GóChova et al. investigated multi-modal remote sensing image classification. In his work, he summarized the leading popular algorithms used for scene classification. It appears that most of these algorithms are CNN-based deep learning models (Gómez-Chova et al. 2015). Maulik et al. conducted a detailed review of algorithms based on support vector machines (SVM) and semi-supervised SVMs for image scene classification (Maulik and Chakraborty 2017). Li and et al. investigated pixel-level, subpixel-level, and object-based image classification methods in their work and revealed the contribution of spatial-contextual information to image scene classification (Li et al. 2014). Penatti et al. tested the generalization power of deep features (ConvNets) obtained from convolution in two different scenarios for airborne and remote sensing. They found that while ConvNets offer the best performance values for aerial images, they give lower results for remote sensing (Penatti, Nogueira, and Santos 2015). In their study, Hu et al. evaluate the success of pre-trained CNN-based models for high-resolution scene classification. For this, they used two publicly available datasets. They claim that the image features obtained by the two different scenarios they propose offer remarkable performance even with a simple linear classifier (Hu et al. 2015). Wu et al. classified the dataset they used in their study with transfer learning-based architectures called both Inception V3 and Xception. As a result of the classification, they found that the Xception architecture provides superior performance than the Inception V3 architecture. As a result of the study, the effectiveness of the Xception architecture in scene classification has been proven (Wu et al. 2020). To leverage the power of convolutional neural networks in scene classification, Nogueira et al. separately evaluated three strategies: full training, fine-tuning, and using ConvNets as feature extractors. As a result of the evaluation, they found that fine-tuning tends to be the best-performing strategy. They claim that especially the use of features obtained with fine-grained ConvNets with linear SVM will provide very high performance (Nogueira, Penatti, & Dos Santos 2017). Zhang et al. have recently examined deep learning-based approaches used in scene classification. Although they state in their studies that deep learning-based approaches provide excellent performance, they still emphasize that they need to be improved (Zhang, Zhang, and Du 2016). Xia et al. have developed a new classification method called AID for aerial image classification. In their study, they presented the scene classification methods available before 2017 in detail (Xia et al. 2017).

As seen in the literature research, it is seen that the majority of the studies carried out in recent years to increase the performance level of scene classification are CNN-based deep learning studies. This confirms that choosing CNN-based as the basis for the study is the correct approach.

3. Material and Methods

3.1. Material

Today, image classification applications are actively applied in a wide range of applications, from geographic information systems to medical studies. In this study, the focus is on the automatic classification of real-life natural objects in order to build the necessary infrastructure that will enable UAVs to move autonomously. For this reason, the dataset called "Intel Image Classification", which is a publicly available dataset on the subject in the literature, was used. In this dataset, there are 6 classes of natural landscape images: buildings, forest, glacier, mountain, sea and street. These images used in the study are numbered between 0-5 in the order in which they are presented. These images are 150x150 images in RGB format. In the "Intel Image Classification" dataset, there is also a prediction class separate from the training and test classes. This class is not included in the study to avoid ambiguity. The distribution and total number of classes in the dataset used in the study are presented in detail in Table 1.

Table 1. Detailed distributions of the classes in the dataset used in the study

	Buildings	Forest	Glacier	Mountain	Sea	Street
Train	2191	2271	2404	2512	2274	2382
Test	437	474	553	525	510	501
Sum	2628	2745	2957	3037	2784	2883

As presented in Table 1, a total of 16509 images were used in the study. Sample images of the classes in the dataset are also shown in Figure 1. When these images are examined, they are quite similar to the images that can be taken by any UAV. This dataset was preferred in the study due to this similarity.

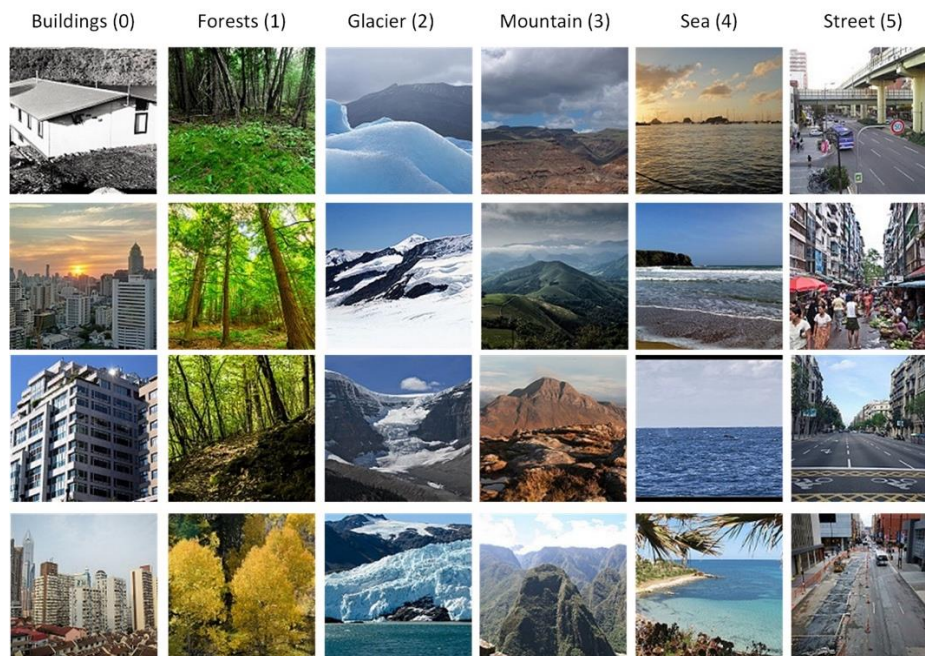


Figure 1. Samples of Intel Image Classification dataset

3.2. Method

When the literature is examined in general, Machine Learning (ML) and Deep Learning (DL) algorithms are algorithms that show high performance in object detection and classification applications. For this reason, they are still popular in the literature. Machine learning methods can be defined as systems where feature methods such as Histogram of Gradient (HOG) approach, wavelet transforms with detail coefficients, Gray Level Co-occurrence Matrices, Principal Component Analysis, Linear Discriminant Analysis are used as hybrid systems (Noble 2006; Quinlan 1986). In these methods, shallow methods are generally used for feature extraction, but basic machine learning methods are used for classification.

While this approach gives good results on carefully prepared datasets, it performs poorly on complex images with numerous objects or with low similarity within groups. Using basic machine learning methods for feature extraction can lead to unnecessary expenditure of training resources. For this reason, most of the deep learning

approaches in image processing applications are based on the architecture of Convolutional Neural Networks (CNNs). In CNN architecture, features are automatically obtained by applying different filters to the input image successively. The number of features obtained is reduced with the Pooling layer and reduced to certain ranges with activation functions. In the Fully Connected layer, which is the last layer of the architecture used, the data is transformed into a linear vector, and in the classification layer, class information is generated by calculating the probabilistic values of each class (Singh et al., 2017).

3.2.1. Inception V3 Method

In general, the idea behind Inception modules is to increase model efficiency by segmenting the data differently from spatial and inter-channel correlation. Based on this idea, standard Inception modules first use 1x1 convolution blocks to evaluate inter-channel correlation. In the Inception modules, the input data can be mapped to different number of spaces with convolution windows of 3x3 or 5x5. This is illustrated in Fig. 2(a) in 3x3 dimensions.

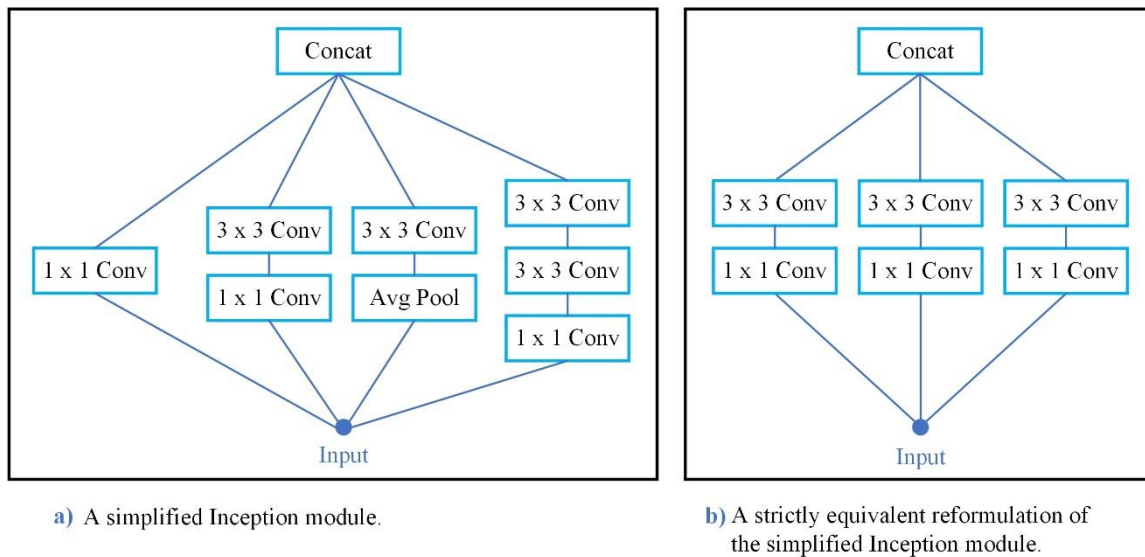


Figure 2. a) standard form of Inception module, b) simplified version of the Inception module

The Inception V3 module has also been developed based on the Inception idea. This model focuses on the detailed decomposition of channel and spatial correlations. The Inception V3 model first consists of the canonical forms shown in Figure 2(a). Although the first modules of this architecture are similar to classical convolution layers, it can achieve highly discriminative representations with fewer parameters. In classical convolution layers, learning is performed with filters in a 3-dimensional space of width, height and channel size (Chollet 2017). Fig. 2(b) shows a simplified version of the Inception V3 module. Here, the 3x3 convolution dimension is used and mean pooling is not used.

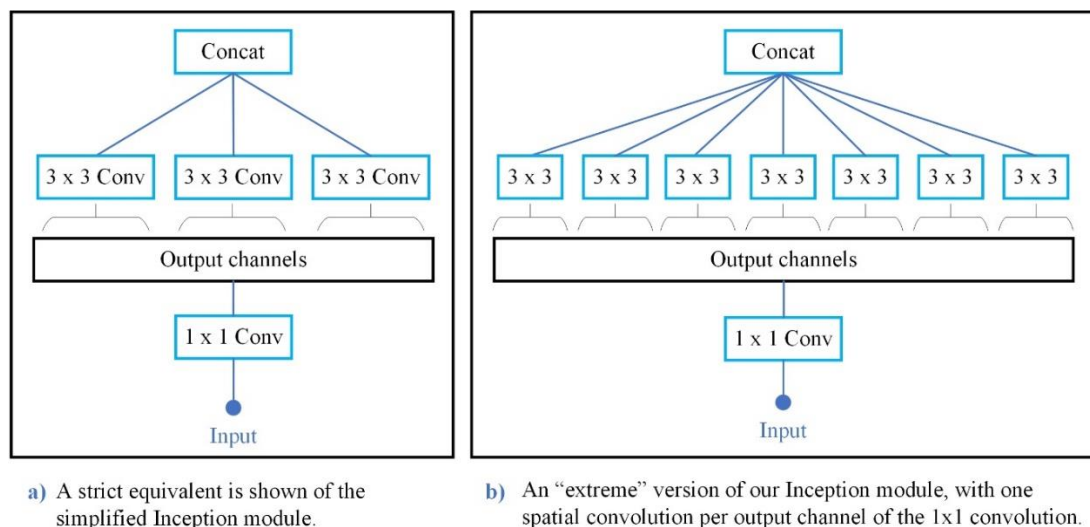


Figure 3. a) A depth wise separable convolution module, b) and extreme version of inception module

The structure representing the spatial convolution that will operate on the images in the output channels after the convolution process in 1x1 window sizes is shown in Fig. 3(a). The structure in the first 3 versions of the Inception V3 module is almost identical to the depth wise separable convolution introduced in 2014 and added to the tensorflow library in 2016 (Fime, Ashikuzzaman, and Aziz 2023). Apart from the first three versions of the Inception V3 module, the correlation between channels was mapped with a 1x1 window size filter and the correlation of each output channel was mapped separately. This is shown in detail in Figure 2.

In image processing applications, depth wise separable convolution process is called separable convolution. In this process, a single 1x1 point wise convolution is applied in the spatial convolution process performed on each channel of the input, and then 3x3 or 5x5 convolutions are applied to all outputs separately. These operations presented in Fig. 3(a) can be continued successively depending on the application.

Based on this strong hypothesis based on the inception module, a 1 x 1 convolution process is first applied and then the spatial correlations of each output channel are mapped. When these operations are applied in such a way as to produce a high degree of spatial collinearity, as shown in Fig. 3(b), an extreme inception structure is created. In this study, based on this structure, a new model is proposed, based on the Inception V3 module and basic inception stages.

3.2.2. Proposed Method

A new model is proposed based on Inception and Inception V3 modules. In the proposed model, as shown in Fig. 3(a), a separable structure is created by first applying [1x1] convolution process on the input image. In parallel with this, on the one hand, the input image was taken directly and avg, max and min pooling operations were carried out. At this stage, images were directly transferred to these filters and [1x1] convolution was not applied. The main reason for this operation is that whether a [1x1] convolution operation is applied or not, the data giving the largest, smallest and average value in the data will not change in the basic architecture. For this reason, [1x1] convolution operation was not performed. Thus, a positive contribution to the performance of the system in terms of time is provided. The proposed Inception module structure is presented in detail in Figure 4.

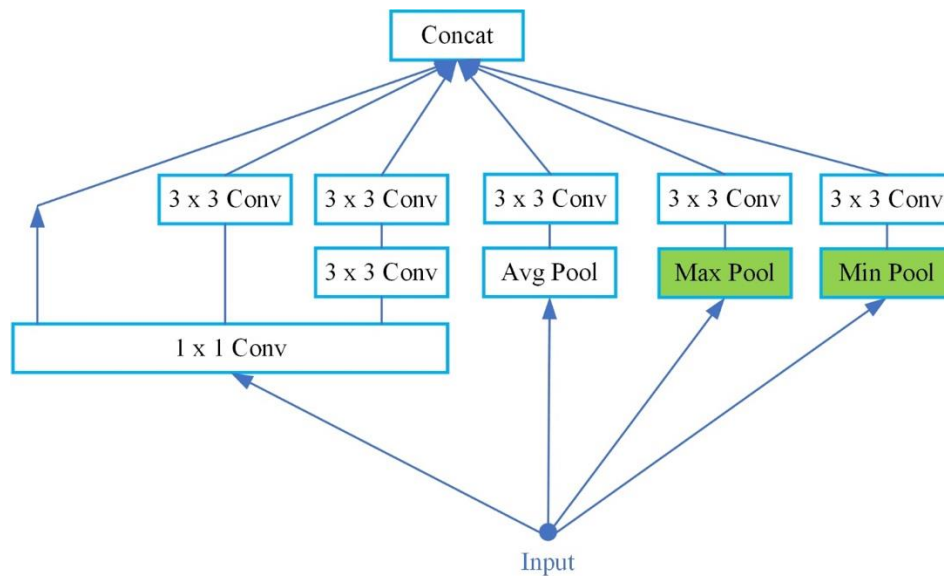


Figure 4. Inception SH inception module

The architecture created with the proposed module structure is shown in Figure 5. As can be seen in Fig. 5, the proposed architecture consists of a classification layer that includes batch normalization, dropout, fully connected and finally the softmax activation function. The batch normalization layer used in the proposed architecture normalizes the data. Therefore, there is no need to perform normalization operations again in the proposed module shown in Fig. 4. As a result, the performance of the proposed model is increased in terms of time and processing load. Again, in the dropout layer used in the proposed architecture, the system is prevented from storing the data. In the fully connected layer, all 2D data is converted into a one-dimensional vector to be presented to the classification layer. In the final layer of the system, the softmax classifier, which is widely used in the literature and whose accuracy has been proven in many studies, is used, presented in Eq.1.

$$softmax(c_j) = \frac{e^{c_j}}{\sum_{c=1}^C e^{z_c}} \text{ for } j = 1, \dots, C \tag{1}$$

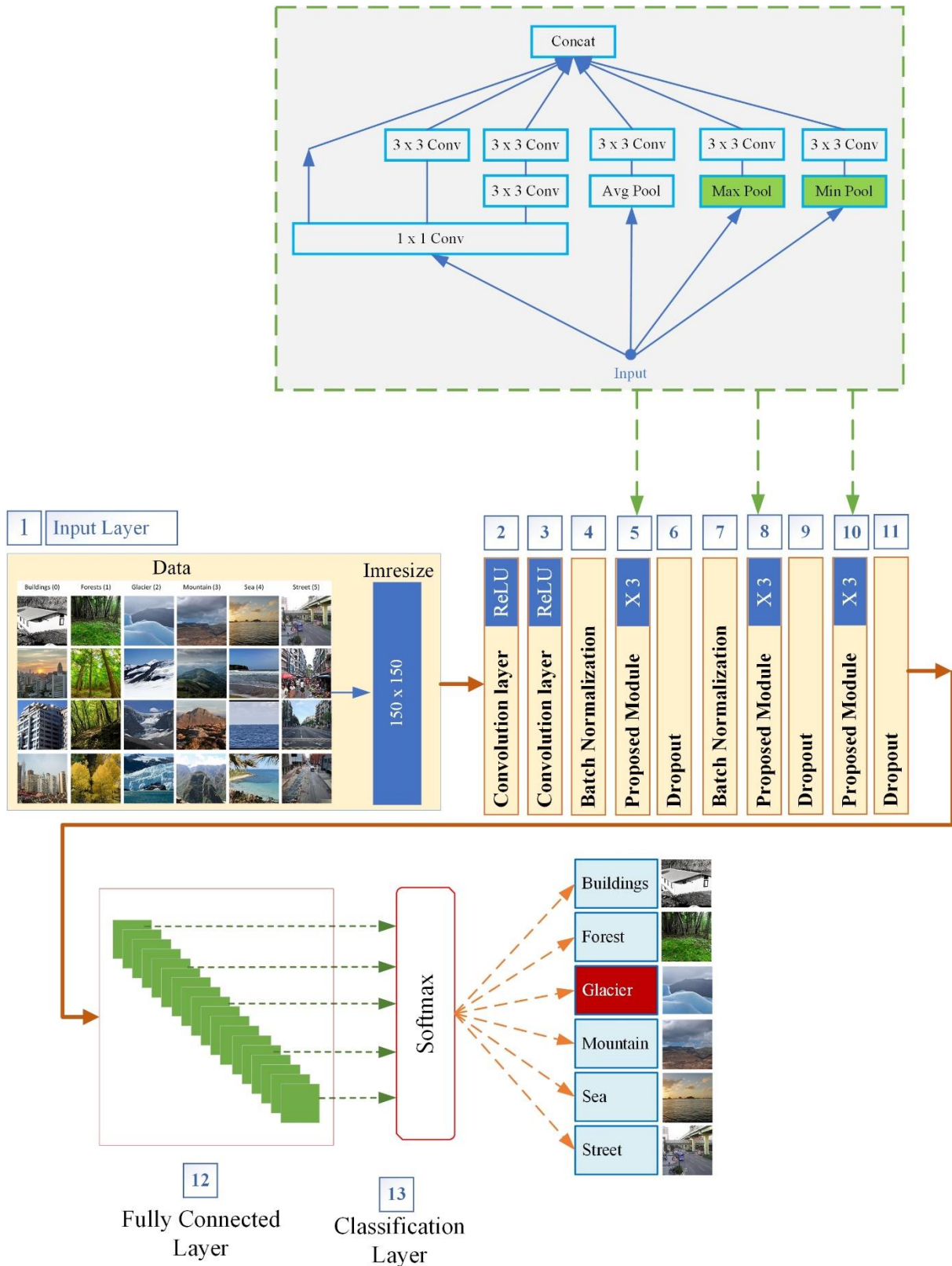


Figure 5. Inception SH architecture

Since it is known that the blocks used in the general architecture of the system will increase the processing load, the number of layers and the number of blocks were determined at an optimum level. In order to ensure that the proposed model is not specific to the dataset used in this study, an imresize operation is added in the first layer of the architecture. With the imresize operation, the images are resized to 150×150×3. However, since the dimensions of the images used in the study were already 150×150×3, the images in the dataset used in the study were not imresized.

Two convolutions with different stride values of $[3 \times 3]$ were performed to remove the noise on the image, especially due to environmental conditions. In order to avoid any change in the size values at the end of the convolution process, the padding value was set to the same in all convolution processes.

Table 2. Details of the layers of the Inception SH architecture

#	Layers	Filter count / Patch size / Stride	Input size	Output size
1	Input Layer	-	-	150x150x3
2	Convolution-1	32/3x3 / (2,2)	150x150x3	75x75x32
3	Convolution-2	64/3x3 / (1,1)	75x75x32	75x75x64
4	Batch Normalization	-	75x75x64	75x75x64
5	3 x Proposed Inception	4/3x3 / (1,1)	75x75x64	75x75x24
6	Dropout	0,2	75x75x24	75x75x24
7	Batch Normalization	-	75x75x24	75x75x24
8	3 x Proposed Inception	16/3x3 / (1,1)	75x75x24	75x75x96
9	Dropout	0,2	75x75x96	75x75x96
10	3 x Proposed Inception	64/3x3 / (1,1)	75x75x96	75x75x384
11	Dropout	0,2	75x75x384	75x75x384
12	Fully connected	256	75x75x384	75x75x256
13	Classifier	Softmax	75x75x256	75x75x6

All layers used in the proposed model, number of filters, patch sizes, stride values, input and output dimensions of each layer are presented in detail in Table 1. As can be seen in Table 1, 0.2 is used as the dropout value in the study. This value was tested between 0.1 and 0.8 in the dataset, and 0.2 was determined as the optimum value. The filter sizes used in the study were tested as $[3 \times 3]$ and $[5 \times 5]$. As a result of the test, the $[5 \times 5]$ filter size trained the system faster than the $[3 \times 3]$ filter size, but the success rate decreased. Therefore, the $[3 \times 3]$ filter size was preferred in the study. The number of filters used in the proposed blocks was determined as a result of experimental studies. In the fully connected layer, a structure with 256 neurons was used to enhance the features. In the classification layer, which is the last stage, as many outputs are designed as the number of classes in the dataset used.

3.2.3. Evaluation Metrics

Accuracy, Recall, Precision, F1 score, and Categorical Cross-entropy (CE_{Loss}) metrics are used in many classification applications in the literature to evaluate the performance of the developed deep learning models (Metlek & Çetiner 2023). Therefore, the same performance metrics are used in parallel with the literature. The contents of the performance metrics used in the study are presented in Eqs. 2- 6.

$$Accuracy = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \quad (2)$$

$$Recall = \frac{TP}{TP+FN} \quad (3)$$

$$Precision = \frac{TP}{TP+FP} \quad (4)$$

$$F1 \text{ score} = 2x \frac{Precision \times Recall}{Precision+Recall} \quad (5)$$

$$CE_{Loss} = -\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sum_{c=1}^C (y_{ic} \log(\hat{y}_{ic})) \quad (6)$$

Eq. 6, y_{ic} is the classification result at the end of i . training for the c^{th} category, \hat{y}_{ic} is the probabilistic prediction result (Rusiecki 2019). Similarly, TP (True Positive), TN (True Negative), FN (False Negative), and FP (False Positive) are used in Eqs. 2-4.

4. Result and Discussion

The training results of the model proposed in the study and the model based on it are presented in detail in Table 3. As seen in Table 3, the accuracy, recall, precision and CE_{Loss} values of the proposed model are better than the underlying Inception V3. If these metrics are examined separately; The Accuracy value of the proposed model is approximately 0.07 higher than the Inception V3. When the recall values were examined, the proposed model showed a 0.14 higher performance than Inception V3. When the precision values are compared, the precision value of the proposed model showed 0.11 higher performance than Inception V3. In CE_{Loss} values, the proposed model gave approximately 0.06 lower loss value to Inception V3.

Table 3. Training performance results of Inception SH and Inception V3 models

	Accuracy	Recall	Precision	CE _{Loss}
Proposed	0.970	0.971	0.983	0.025
Inception V3	0.904	0.830	0.872	0.16

The results of the experimental study conducted with test data separated according to the cross-validation value of 5, unlike train data, are presented in detail in Table 4. As can be seen in Table 4, in the class-based performance results of the Inception V3 model, the best precision value was obtained in the Forest class, while the worst precision value was obtained in the Sea class. However, here the difference between the two results is not very high. As for the recall value, the recall metrics of all classes are closer to each other than the values in the precision metric. In the recall metric, the highest performance value was obtained from the Sea class, while the Forest class gave the lowest performance value. When the F1 score values are examined, it is seen that the F1 score metrics obtained from all classes are very close to each other. When the F1 score values of the Glacier and Forest classes were examined, it was determined that the results were closer to each other than the F1 score values of the other classes. As a result of the experimental procedures performed using the Inception V3 model, an average accuracy value of 0.882 was reached.

Table 4. Class-based test performance results of the Inception V3 model

Class	Accuracy	Precision	Recall	F1 score
Buildings	0.872	0.890	0.872	0.881
Forest	0.860	0.913	0.860	0.886
Glacier	0.889	0.887	0.889	0.888
Mountain	0.887	0.867	0.887	0.877
Sea	0.899	0.868	0.899	0.883
Street	0.886	0.874	0.886	0.880
Average	0.882	0.883	0.882	0.882
Avg. CE _{Loss}				0.098

The performance results of the Inception SH model are also presented in detail in Table 5. As can be seen from here, precision, recall, and F1 score values are presented on a class basis, and accuracy and CE_{Loss} values are shared as the average of the classes. When the precision values of the proposed model are examined, it gives the same and higher performance values in the Forest and Glacier classes than the other classes. The lowest precision value was obtained from the mountain class. When the recall values are examined, the highest values were obtained from the buildings class and the lowest values were obtained from the mountain class. When the F1 score values were examined, the highest and same performance values were obtained from the buildings and street classes. The lowest F1 score value was obtained from the mountain class.

Table 5. Class-based test performance results of the proposed model

Class	Accuracy	Precision	Recall	F1 score
Buildings	0.977	0.957	0.977	0.967
Forest	0.947	0.961	0.947	0.954
Glacier	0.945	0.961	0.945	0.953
Mountain	0.942	0.953	0.942	0.948
Sea	0.966	0.955	0.966	0.961
Street	0.974	0.960	0.974	0.967
Average	0.958	0.957	0.974	0.967
Avg. CE _{Loss}				0.029

In the study, the accuracy values of the proposed model were evaluated in two aspects: class-based and general. When the accuracy value was first examined on a class basis, the highest accuracy value was obtained from the buildings class. The lowest accuracy value was obtained from the mountain class. When the accuracy value was evaluated secondarily, the average accuracy value of all classes was measured as 0.958. The loss value of the proposed model was evaluated in general and was measured as 0.029.

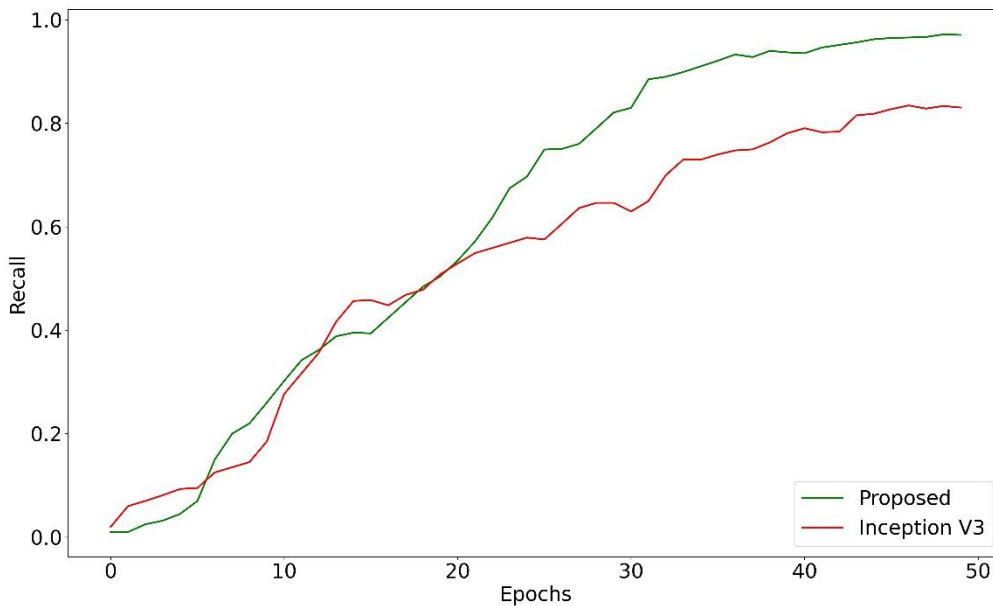


Figure 6. Train recall results of Inception SH and Inception V3 models

Among the training performance results presented in detail in Table 3, the performance of the recall value after 50 iterations is also presented visually in Figure 6. When the graph is examined in detail, despite the increase in the number of iterations, the superiority of the proposed model over the Inception V3 model continues.

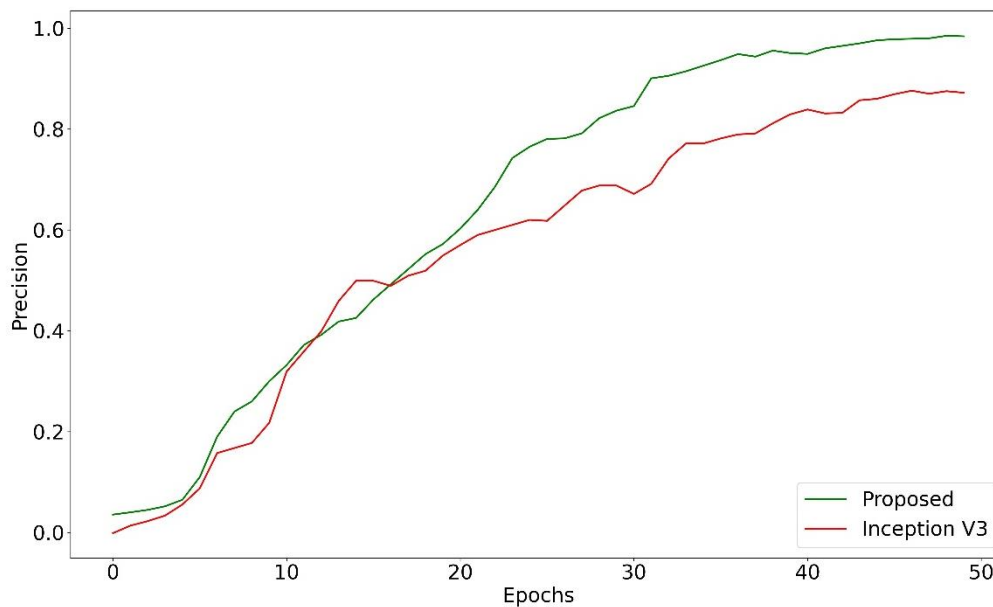


Figure 7. Train and validation precision results of Inception SH model

The graph of the precision value, which is presented similarly to the recall value in Table 3, is presented in Fig. 7. In this graph, similar to Fig. 6, despite the increase in the number of iterations, the superiority of the Inception SH model over the Inception V3 model continues. In the graph of the general accuracy value presented in Fig. 8, results similar to Fig. 6 and Fig. 7 stand out. In Figure 8, unlike these, it can be seen that the difference between the proposed model and the Inception V3 model is less.

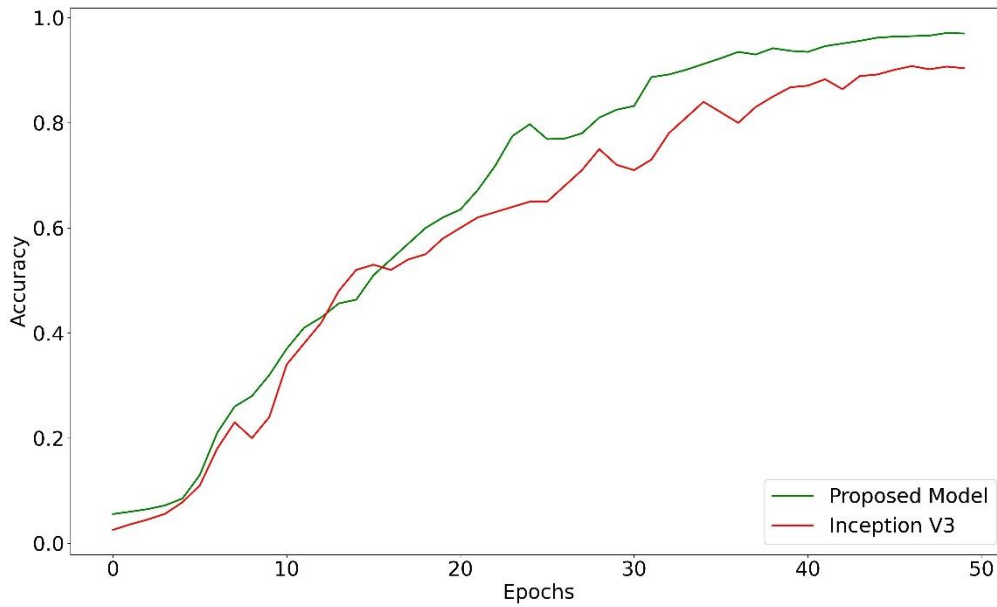


Figure 8. Train and validation accuracy results of Inception SH model

In Figure 9, the CE_{Loss} chart is presented, different from the accuracy, precision, and recall values. In this graph, it is seen that the loss value decreases as the number of iterations increases and the oscillation decreases and reaches a plateau, especially between 40 and 50 iterations. When these values are examined, it is seen that the proposed model provides a lower loss value than the Inception V3 model.

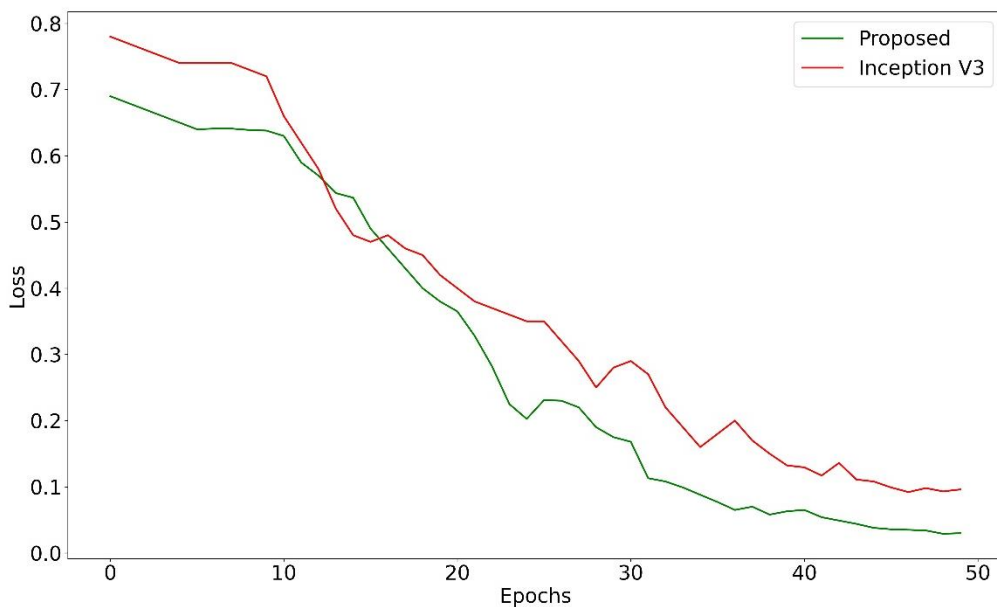


Figure 9. Train and validation CE_{Loss} results of Inception SH model

The confusion matrix, which is generally used in the literature, briefly summarizes the performance of a classification algorithm. This summary gives an idea of how accurate the predictions are and how close they are to the actual values. In the confusion matrix, rows are about real classes and columns are about predicted classes. The diagonal values in the confusion matrix represent correctly classified observations. It also shows that observations with off-diagonal values are misclassified. The class-based results obtained as a result of the testing process in the study are shared in detail in the confusion matrix presented in Figure 10.

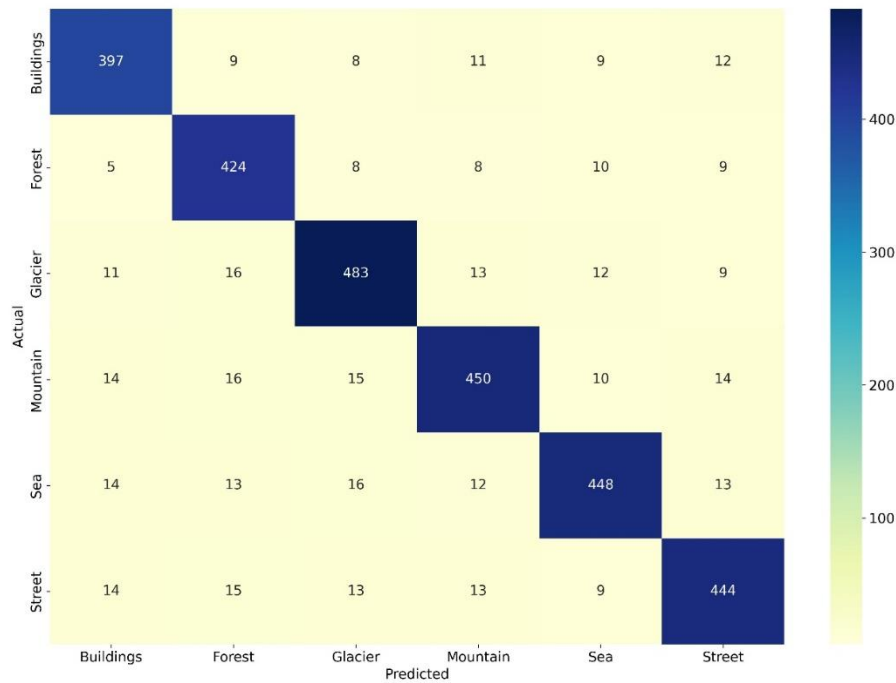


Figure 10. Confusion matrix of Inception V3

The class-based results obtained as a result of the testing processes are shared in the confusion matrix presented in Fig. 11. The values given in Figure 10 and Figure 11 summarize the values in Tables 3 and 4, respectively.

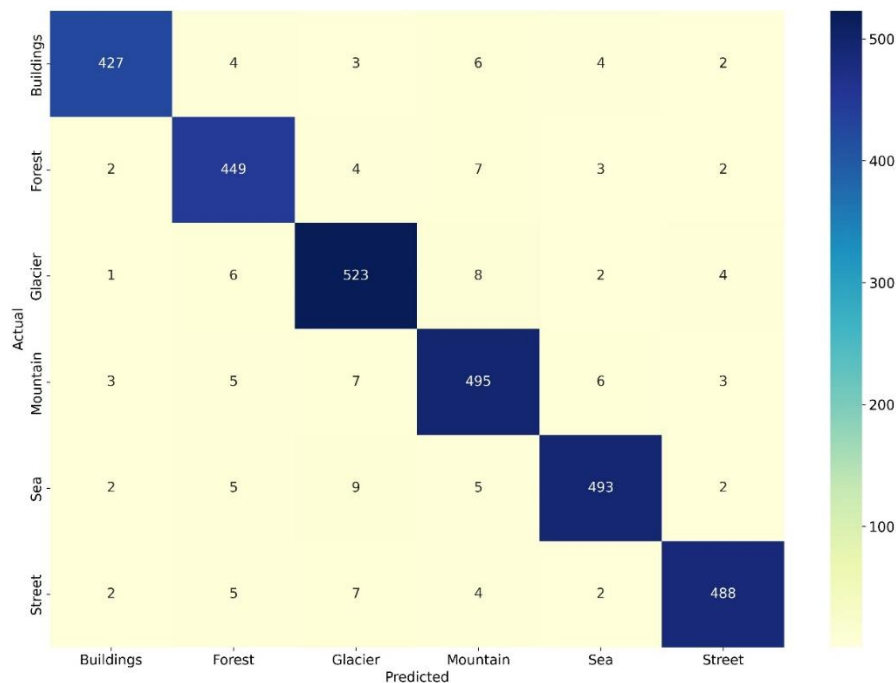


Figure 11. Confusion matrix of Inception SH model

Although existing studies in the literature regarding the dataset used in the study were investigated, it was determined that there were not many studies using the same dataset. Basic studies and performance values using the same dataset in the literature are briefly summarized in Table 6.

Table 6. State-of-the-art studies using of the same dataset

Authors [References]	Architecture	Accuracy	Recall	Precision	F1 Score
Sobti et al. (Sobti, Nayyar, and Nagrath 2021)	ResNet50	37	37	32	29
	VGG16	89	89	89	89
	VGG19	87	87	87	87
	Xception	90	90	90	90
	EnsemV3X	91	91	91	91
Guo et al. (Guo et al. 2021)	MobileNet	84	-	-	-
	MobileNet V2	86	-	-	-
	ShuffleNet (1.5)	85	-	-	-
	ShuffleNet (x2)	87	-	-	-
	MinorNet	88	-	-	-
Yahya et al. (Yahya et al. 2023)	ResNet50	83	-	-	-
	Xception	73	-	-	-
	DenseNet201	83	-	-	-
	NMAF	88	-	-	-
Chowdhury et al. (Chowdhury et al. 2022)	VGG16-Grid search	73	-	-	-
	VGG16-Genetic algorithm	78	-	-	-
	VGG-Bayesian optimization	84	-	-	-
	VGG16-Random search	83	-	-	-
	VGG16-Hyberband	82	-	-	-
	VGG16-Particle swarm optimization	81	-	-	-
Saran et al. (Saran, Saran, and Nar 2021)	Density Preserving Data Augmentation (DPDA)	90	-	-	-
	Flip Image (FI)	88	-	-	-
	Utilizing random erase	89	-	-	-
	DPDA+FI	88	-	-	-
	Gamma Correction (GC)	87	-	-	-
	Histogram Equalization Combined with Gamma Correction (HE+GC)	87	-	-	-
Thepade and Idhate (Thepade and Idhate 2022)	Random tree	65	-	-	-
	Random forest	78	-	-	-
	Simple logistic	81	-	-	-
	Logistic	82	-	-	-
	Naive Bayes	77	-	-	-
	Bayes net	80	-	-	-
	Multilayer perceptron	83	-	-	-
Ours	Inception SH	95	95	95	95

Using the same dataset as the one in the study, Sobti et al. used ResNet50, VGG16, VGG19, Xception, and EnsemV3X architectures in their study. Although the highest accuracy value was obtained from the EnsemV3X architecture, the lowest accuracy value was obtained from the ResNet50 architecture. EnsemV3X architecture, which gave high accuracy values in their studies, similarly showed higher performance than other architectures used in their studies in recall, precision, and F1-Score values.

Gua et al. also used MobileNet, MobileNet V2, ShuffleNet(1,5), ShuffleNet(x2), and MinorNet architectures in their study (Guo et al. 2021). They obtained the highest performance values from MinorNet. Yahya et al. performed classification using ResNet50, Xception, DenseNet201, and NMAF architectures (Yahya et al. 2023). While they achieved the highest result with the NMAF model they developed, they achieved the lowest result with the Xception architecture. Chowdhury et al classified the Intel image dataset with architectures named VGG16-Grid Search, VGG16-Genetic algorithm, VGG-Bayesian optimization, VGG16-Random search, VGG16-Hyberband, VGG16-Particle swarm optimization (Chowdhury et al. 2022). As a result of the classification, the highest performance result was obtained with the VGG16-Bayesian optimization method, while the lowest result was obtained with the VGG16-Grid search method. Saran et al carried out the classification process with methods called DPDA, FI, Utilizing random erase, DPDA+FI, GC, HE+GC (Saran et al. 2021). While the highest classification performance was achieved in the DPDA method, the lowest classification success was achieved in the GC and HE+GC models.

Thepade and Idhate performed classification with a random tree, random forest, simple logistic, logistic, naïve Bayes, Bayes net, and multilayer perceptron models (Thepade and Idhate 2022). In the performance results obtained as a result of the classification process, the lowest performance result was obtained with the random tree model, while the highest classification result was obtained with the multilayer perceptron model. When the studies in the literature using the same dataset are generally evaluated, it can be seen that their success performance is lower than the proposed model. In addition, in many studies, the authors did not share the values of the Recall, Precision, and F1 Score performance metrics in their studies.

Table 7. Parameters numbers and sizes of the models

Model	#Parameters (M)	Size (MB)
Inception (Zhu et al. 2023)	10.32	39.42
Inception V3 (Cao et al. 2021; Pan et al. 2023)	21.8	83.89
Inception SH	5,56	24.72

The number of parameters according to the Inception and Inception V3 models inspired by the study is also presented in detail in Table 7. As can be seen from here, the number of parameters is less than the other two models. It is obvious that having fewer parameters will reduce the computational cost. As a result, it's qualification more applicable in embedded systems than the other two inspired models due to its lower processing cost.

5. Conclusion

In this study, a deep learning model based on Inception V3 has been developed to enable UAVs to make instant decisions about the environment by autonomously making instant decisions from images independently of the operators using the UAVs. The developed model was trained and tested on an up-to-date dataset named Intel Image Dataset. The dataset contains real-life images of Buildings, Forest, Glacier, Mountain, Sea and Street classes. Separable structure is created by applying $[1 \times 1]$ convolution process in the inception module structure used in the proposed model. In parallel with this, avg, max and min pooling operations were performed by taking the input image directly on one side. In this parallel process, images are directly transferred to these filters and $[1 \times 1]$ convolution process is not applied. Thus, a positive contribution has been made to the performance of the proposed architecture in terms of time. The general structure of this module is presented in detail in Fig. 4. This block structure and the proposed architecture are presented as a whole in Fig. 5. Although the proposed architecture consists of 13 steps in total, in the first step, the size of the images is reduced to 150×150 by performing the imresize operation especially in the input layer. The number of layers and blocks used in the overall architecture of the system was determined by experimental studies and kept at an optimum level. Thus, the proposed model is designed to work on embedded systems.

Accuracy, recall, precision, F1 score and CE_{Loss} metrics, which are preferred in the literature, were used to evaluate the performance of the study. Although the proposed system is based on the Inception V3 model, the difference in performance is detailed in Tables 3-5. In addition, a detailed comparison with studies in the literature using the same dataset is presented in Table 6. The proposed model provides a superior performance result compared to the studies using the same dataset. The proposed model achieves 95% performance on average, while the closest work in the literature achieves 91% (Sobti et al. 2021). In other words, the proposed model provides approximately 4% better results compared to the accuracy, recall, precision, and F1 score metrics commonly used in the literature.

As a result, the proposed architecture is an improvement in terms of performance compared to the Inception V3 model. Since the proposed model is lighter than many models in the literature, it is obvious that it can be used on different platforms. It is aimed to adapt the study to different subjects by making changes in the filters in the block in the future. When all the results are evaluated, the results obtained are competitive with other studies in the literature. Considering the popularity of autonomous UAVs, it is predicted that the Inception SH model, developed as a lightweight model, can also be used in IoT devices.

Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

References

- Akbay, Tuncer. 2022. Modeling Education Studies Indexed in Web of Science Using Natural Language Processing. *Instructional Technology and Lifelong Learning* 3(2):129-43.
- Amarasingam, Narmilan, Arachchige Surantha Ashan Salgadoe, Kevin Powell, Luis Felipe Gonzalez, and Sijesh Natarajan. 2022.

- A Review of UAV Platforms, Sensors, and Applications for Monitoring of Sugarcane Crops. *Remote Sensing Applications: Society and Environment* 26:100712.
- Cao, Jianfang, Minmin Yan, Yiming Jia, Xiaodong Tian, and Zibang Zhang. 2021. Application of a Modified Inception-v3 Model in the Dynasty-Based Classification of Ancient Murals. *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing* 2021:1–25.
- Çetiner, Halit, and Sedat Metlek. 2023. DenseUNet+: A Novel Hybrid Segmentation Approach Based on Multi-Modality Images for Brain Tumor Segmentation. *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences* 35(8):101663. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2023.101663>.
- Chollet, François. 2017. Xception: Deep Learning with Depthwise Separable Convolutions. Pp. 1251–58 in *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*.
- Chowdhury, Anjir Ahmed, Argho Das, Khadija Kubra Shahjalal Hoque, and Debajyoti Karmaker. 2022. A Comparative Study of Hyperparameter Optimization Techniques for Deep Learning BT - *Proceedings of International Joint Conference on Advances in Computational Intelligence*. Pp. 509–21 in, edited by M. S. Uddin, P. K. Jamwal, and J. C. Bansal. Singapore: Springer Nature Singapore.
- Fime, Awal Ahmed, Md Ashikuzzaman, and Abdul Aziz. 2023. Audio Signal Based Danger Detection Using Signal Processing and Deep Learning. *Expert Systems with Applications* 121646.
- Finnegan, Philip. 2017. World Civil Unmanned Aerial Systems Market Profile and Forecast 2017. Teal Group 1–13. Retrieved (https://tealgroup.com/images/TGCTOC/WCUAS2017TOC_EO.pdf).
- Gómez-Chova, L., D. Tuia, G. Moser, and G. Camps-Valls. 2015. Multimodal Classification of Remote Sensing Images: A Review and Future Directions. *Proceedings of the IEEE* 103(9):1560–84. doi: 10.1109/JPROC.2015.2449668.
- Grand View, Research. 2023. Commercial UAV Market Size, Share & Trends Analysis Report By Product (Fixed Wing, Rotary Blade, Nano, Hybrid), By Application (Agriculture, Energy, Government, Media & Entertainment, Construction), By Region, And Segment Forecasts, 2023 - 2030. Grand View Research 171. Retrieved (<https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/commercial-uav-market>).
- Guo, S., Y. Ni, K. Xing, Y. Liu, and W. Ni. 2021. MinorNet: A Lightweight Neural Network for Battlefield Scene Classification. Pp. 17–20 in *2021 14th International Symposium on Computational Intelligence and Design (ISCID)*.
- Hu, Fan, Gui-Song Xia, Jingwen Hu, and Liangpei Zhang. 2015. Transferring Deep Convolutional Neural Networks for the Scene Classification of High-Resolution Remote Sensing Imagery. *Remote Sensing* 7(11):14680–707.
- Huang, Rachel, Jonathan Pedoeem, and Cuixian Chen. 2018. YOLO-LITE: A Real-Time Object Detection Algorithm Optimized for Non-GPU Computers. Pp. 2503–10 in *2018 IEEE international conference on big data (big data)*. IEEE.
- Li, Miao, Shuying Zang, Bing Zhang, Shanshan Li, and Changshan Wu. 2014. A Review of Remote Sensing Image Classification Techniques: The Role of Spatio-Contextual Information. *European Journal of Remote Sensing* 47(1):389–411. doi: 10.5721/EuJRS20144723.
- Matese, Alessandro, Piero Toscano, Salvatore F. Di Gennaro, Lorenzo Genesio, Francesco P. Vaccari, Jacopo Primicerio, Claudio Belli, Alessandro Zaldei, Roberto Bianconi, and Beniamino Gioli. 2015. Intercomparison of UAV, Aircraft and Satellite Remote Sensing Platforms for Precision Viticulture. *Remote Sensing* 7(3):2971–90.
- Maulik, U., and D. Chakraborty. 2017. Remote Sensing Image Classification: A Survey of Support-Vector-Machine-Based Advanced Techniques. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine* 5(1):33–52. doi: 10.1109/MGRS.2016.2641240.
- Menouar, H., I. Guvenc, K. Akkaya, A. S. Uluagac, A. Kadri, and A. Tuncer. 2017. UAV-Enabled Intelligent Transportation Systems for the Smart City: Applications and Challenges. *IEEE Communications Magazine* 55(3):22–28. doi: 10.1109/MCOM.2017.1600238CM.
- Metlek, S., and H. Çetiner. 2023. ResUNet+: A New Convolutional and Attention Block-Based Approach for Brain Tumor Segmentation. *IEEE Access* 11:69884–902. doi: 10.1109/ACCESS.2023.3294179.
- Metlek, Sedat, and Halit Çetiner. 2023. Classification of Poisonous and Edible Mushrooms with Optimized Classification Algorithms. Pp. 408–15 in *International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences*. Vol. 1.
- Moranduzzo, T., F. Melgani, M. L. Mekhalfi, Y. Bazi, and N. Alajlan. 2015. Multiclass Coarse Analysis for UAV Imagery. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 53(12):6394–6406. doi: 10.1109/TGRS.2015.2438400.
- Noble, William S. 2006. What Is a Support Vector Machine? *Nature Biotechnology* 24(12):1565–67. doi: 10.1038/nbt1206-1565.
- Nogueira, Keiller, Otávio A. B. Penatti, and Jefersson A. dos Santos. 2017. Towards Better Exploiting Convolutional Neural Networks for Remote Sensing Scene Classification. *Pattern Recognition* 61:539–56. doi: <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2016.07.001>.
- Pan, Yuhang, Junru Liu, Yuting Cai, Xuemei Yang, Zhucheng Zhang, Hong Long, Ketong Zhao, Xia Yu, Cui Zeng, Jueni Duan, Ping Xiao, Jingbo Li, Feiyue Cai, Xiaoyun Yang, and Zhen Tan. 2023. Fundus Image Classification Using Inception V3 and ResNet-50 for the Early Diagnostics of Fundus Diseases. *Frontiers in Physiology* 14.
- Penatti, O. A. B., K. Nogueira, and J. A. dos Santos. 2015. Do Deep Features Generalize from Everyday Objects to Remote Sensing and Aerial Scenes Domains? Pp. 44–51 in *2015 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW)*.
- Quinlan, J. Ross. 1986. Induction of Decision Trees. *Machine Learning* 1:81–106.
- Rusiecki, A. 2019. Trimmed Categorical Cross-Entropy for Deep Learning with Label Noise. *Electronics Letters* 55(6):319–20. doi: <https://doi.org/10.1049/el.2018.7980>.
- Saran, Nurdan Ayse, Murat Saran, and Fatih Nar. 2021. Distribution-Preserving Data Augmentation. *PeerJ Computer Science* 7:e571.
- Şenel, Bilge, and Fatih Ahmet Şenel. 2022. Novel Neural Network Optimization Approach for Modeling Scattering and Noise Parameters of Microwave Transistor. *International Journal of Numerical Modelling: Electronic Networks, Devices and Fields* 35(1):e2930.
- Shabbir, Amsa, Nouman Ali, Jameel Ahmed, Bushra Zafar, Aqsa Rasheed, Muhammad Sajid, Afzal Ahmed, and Saadat Hanif Dar. 2021. Satellite and Scene Image Classification Based on Transfer Learning and Fine Tuning of ResNet50. edited by M. Maqsood. *Mathematical Problems in Engineering* 2021:5843816. doi: 10.1155/2021/5843816.

- Shahi, Tej Bahadur, Cheng-Yuan Xu, Arjun Neupane, and William Guo. 2023. Recent Advances in Crop Disease Detection Using UAV and Deep Learning Techniques. *Remote Sensing* 15(9):2450.
- Singh, Vineeta, Deeptha Girish, and Anca L. Ralescu. 2017. Image Understanding-a Brief Review of Scene Classification and Recognition. *MAICS* 2017:85–91.
- Sobti, Priyal, Anand Nayyar, and Preeti Nagrath. 2021. EnsemV3X: A Novel Ensembled Deep Learning Architecture for Multi-Label Scene Classification. *PeerJ Computer Science* 7:e557.
- Thepade, Sudeep D., and Mrunal E. Idhate. 2022. Machine Learning-Based Scene Classification Using Thepade's SBTC, LBP, and GLCM BT - Futuristic Trends in Networks and Computing Technologies. Pp. 603–12 in, edited by P. K. Singh, S. T. Wierzchoń, J. K. Chhabra, and S. Tanwar. Singapore: Springer Nature Singapore.
- Tokmak, Mahmut. 2022. Uzun-Kısa Süreli Bellek Ağı Kullanarak Hisse Senedi Fiyatı Tahmini. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Uygulamalı Bilimler Dergisi* 6(2):309–22.
- Tuia, D., M. Volpi, L. Copa, M. Kanevski, and J. Munoz-Mari. 2011. A Survey of Active Learning Algorithms for Supervised Remote Sensing Image Classification. *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing* 5(3):606–17. doi: 10.1109/JSTSP.2011.2139193.
- Wu, X., R. Liu, H. Yang, and Z. Chen. 2020. An Xception Based Convolutional Neural Network for Scene Image Classification with Transfer Learning. Pp. 262–67 in 2020 2nd International Conference on Information Technology and Computer Application (ITCA).
- Xia, Gui-Song, Jingwen Hu, Fan Hu, Baoguang Shi, Xiang Bai, Yanfei Zhong, Liangpei Zhang, and Xiaoqiang Lu. 2017. AID: A Benchmark Data Set for Performance Evaluation of Aerial Scene Classification. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 55(7):3965–81. doi: 10.1109/TGRS.2017.2685945.
- Yahya, Ali A., Kui Liu, Ammar Hawbani, Yibin Wang, and Ali N. Hadi. 2023. A Novel Image Classification Method Based on Residual Network, Inception, and Proposed Activation Function. *Sensors* 23(6).
- Yuan, C., Z. Liu, and Y. Zhang. 2015. UAV-Based Forest Fire Detection and Tracking Using Image Processing Techniques. Pp. 639–43 in 2015 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS).
- Zeggada, A., and F. Melgani. 2017. Multilabeling UAV Images with Autoencoder Networks. Pp. 1–4 in 2017 Joint Urban Remote Sensing Event (JURSE).
- Zhang, L., L. Zhang, and B. Du. 2016. Deep Learning for Remote Sensing Data: A Technical Tutorial on the State of the Art. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine* 4(2):22–40. doi: 10.1109/MGRS.2016.2540798.
- Zhu, Xianyu, Jinjiang Li, Ruchang Jia, Bin Liu, Zhuohan Yao, Aihong Yuan, Yinqiu Huo, and Zhang Haixi. 2023. LAD-Net: A Novel Light Weight Model for Early Apple Leaf Pests and Diseases Classification. *IEEE/ACM Transactions on Computational Biology And Bioinformatics* 20(2):1156–69.
- Zou, Q., L. Ni, T. Zhang, and Q. Wang. 2015. Deep Learning Based Feature Selection for Remote Sensing Scene Classification. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters* 12(11):2321–25. doi: 10.1109/LGRS.2015.2475299.



ÇÖLYAK HASTALARI İÇİN ISPARTA GÜLÜ (*ROSA DAMASCENA MILL.*) İLE ZENGİNLEŞTİRİLMİŞ GLUTENSİZ DONDURMA KÜLAHI GELİŞTİRİLMESİ

Elif Ece GÜL¹, Arzu Uğurel BİÇİCİ¹, Hülya GÜL^{2*}, Sultan ACUN³

¹ Özel Isparta Doğa Anadolu Lisesi, Isparta, Türkiye

²Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

³Amasya Üniversitesi, Suluova Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Bölümü, Amasya, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Gluten İntoleransı,
Diyet Lif,
Fenolik Madde,
Antioksidan Aktivite.

Öz

Dünyada en yaygın görülen genetik temelli gıda intoleransı olan çölyak hastalığı, buğday, arpa, çavdar gibi tahıllarda bulunan glutene karşı aşırı duyarlılığa bağlı olarak gelişen otoimmün bir hastalıktır ve tek tedavisi, gluten içeren yiyeceklerin ömür boyu diyetten çıkarılmasıdır. Bu çalışmada; özellikle çölyak hastası çocuklar için Isparta gülü yaprağı unu (GYU) ile zenginleştirilmiş teknolojik ve duyuşal bakımdan kabul edilebilir kalitede glutensiz dondurma külahı geliştirilmesi amaçlanmıştır. Araştırma sonucunda GYU ile zenginleştirilmiş glutensiz dondurma külahlarının GYU içermeyen glutenli ve glutensiz dondurma külahlarına göre mineral madde, toplam diyet lif, toplam fenolik madde ve antioksidan aktivite açısından çok daha yüksek bir içeriğe sahip olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte GYU %10 oranında glutensiz un karışımı ile ikame edildiğinde teknolojik ve duyuşal olarak kabul edilebilir nitelikte bir glutensiz dondurma külahı üretiminin mümkün olabildiği sonucuna ulaşılmıştır. Elde edilen bulgular Isparta GYU'nun glutensiz gofret ve dondurma külahının yanı sıra glutensiz diğer gıda ürünlerinin besin içeriğinin zenginleştirilmesi amacıyla da kullanılabilceğini göstermiştir.

DEVELOPMENT OF GLUTEN-FREE ICE CREAM CONE ENRICHED WITH ISPARTA ROSE (*ROSA DAMASCENA MILL.*) FOR CELIAC PATIENTS

Keywords

Gluten Intolerance,
Dietary Fiber,
Phenolic Substance,
Antioxidant Activity.

Abstract

Celiac disease, the most common genetically based food intolerance in the world, is an autoimmune disease that develops due to hypersensitivity to gluten found in grains such as wheat, barley, and rye, and the only treatment is the lifelong elimination of gluten-containing foods from the diet. In this study; it was aimed to develop a gluten-free ice cream cone (GFIC) enriched with Isparta rose petal flour (RPF) with technologically and sensory acceptable quality, especially for children with celiac disease. The study data indicate that GFIC enriched with RPF exhibited significantly greater levels of mineral matter, total dietary fiber, total phenolic matter, and antioxidant activity in comparison to both gluten-containing and GFIC without RPF. However, it was concluded that when RPF is substituted with a 10% gluten-free flour mixture, it is possible to produce a GFIC that is technologically and sensory acceptable. The results demonstrated that Isparta RPF may be added to gluten-free wafers, ice cream cones, and other gluten-free food products to improve their nutritional value.

Alıntı / Cite

Gül, E.E., Biçici, A.U., Gül, H., Acun, S., (2024). Çölyak Hastaları İçin Isparta Gülü (*Rosa damascena Mill.*) ile Zenginleştirilmiş Glutensiz Dondurma Külahı Geliştirilmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 12(2), 345-356.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

E.E. Gül, 0009-0007-4601-8301
A.U. Biçici, 0000-0001-7032-2409
H. Gül, 0000-0002-6791-817X
S. Acun, 0000-0003-1954-6102

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	19.03.2024
Revizyon Tarihi / Revision Date	16.04.2024
Kabul Tarihi / Accepted Date	19.04.2024
Yayın Tarihi / Published Date	30.06.2024

* İlgili yazar / Corresponding author: hulyagul@sdu.edu.tr, +90-246-211-1666

DEVELOPMENT OF GLUTEN-FREE ICE CREAM CONE ENRICHED WITH ISPARTA ROSE (*ROSA DAMASCENA MILL.*) FOR CELIAC PATIENTS

Elif Ece GÜL¹, Arzu Uğurel BİÇİCİ¹, Hülya GÜL^{2†}, Sultan ACUN³

¹ Private Isparta Doga Anatolian High School, Isparta, Türkiye

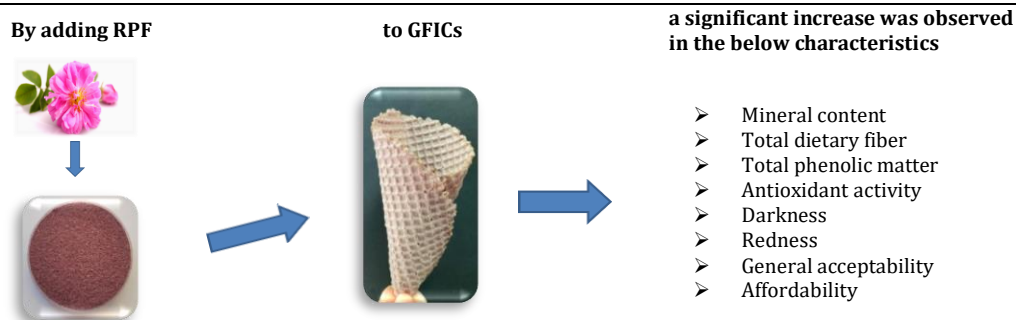
² Süleyman Demirel University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Food Engineering, Isparta, Türkiye

³ Amasya University, Suluova Vocational School, Department of Food Processing, Amasya, Türkiye

Highlights

- The experimental design was successful in producing gluten-free ice cream cones (GFICs)
- The nutritional value of GFICs was raised by using petal flour from *Rosa damascena* Mill
- GFICs were produced that had comparable technological and sensory quality as their gluten-containing counterparts

Graphical Abstract



Purpose and Scope

The aim of the study is to develop GFICs with the same technological quality as their gluten-containing counterparts, enriched in terms of nutritional content with *Rosa damascena* petal flour (RPF), especially for children with celiac disease.

Design/methodology/approach

Wheat flour for regular ice cream cones and a gluten-free flour mixture (40% rice flour, 45% potato starch, 8% corn flour, and 7% corn starch) for GFICs were used, and RPF was replaced with this gluten-free flour mixture in a ratio of 10% for 10 RPF containing GFICs. These three different ice cream cones were compared in terms of their technological, textural, chemical, nutritional, and sensory properties.

Findings

The replacement of RPF led to a darker color of the GFICs, a significant increase in redness, and a reduction in yellowness. The hardness values of GFICs were found to be higher than those prepared with wheat flour. However, the overall appreciation of the GFICs improved with a 10% substitution of RPF.

Research limitations/implications

Sensory acceptability of GFICs decreased when RPF was substituted above 10%.

Social Implications

This study suggests that adding RPF to ice cream cones can improve their nutritional value, making them celiac-friendly. Commercializing this product will allow celiac patients, especially children, to eat their favored ice cream with its cone, minimizing their problem of finding gluten-free cones.

Originality

To the best of our knowledge, there is no study on the use of Isparta rose petal flour in the production of wafers and ice cream cones. The findings are thought to be beneficial for manufacturers and researchers in the gluten-free food industry.

[†] Corresponding author: hulyagul@sdu.edu.tr, +90-246-211-1666

1. Giriş (Introduction)

Çölyak hastalığı, genetik olarak duyarlı kişilerde buğday, çavdar, arpa ve yulaf gibi tahıllarda bulunan gluten proteinlerinin alınmasıyla ortaya çıkan ve giderek yaygınlaşan otoimmün bir hastalıktır (Stamnaes vd., 2015; Besser ve Khosla, 2023). Bağırsak mukozasında hasara yol açarak besin emilimini engeller. Çölyaklı hastalarda boy kısalığı, çocuklukta gelişememe, ergenlikte gecikme, uyuşukluk ve kilo kaybı gibi klasik malabsorbsiyon sendromlarının yanısıra ishal, karın ağrısı, demir eksikliği anemisi, folat, kalsiyum, B12, A, D, E ve K vitamini eksikliği, cilt döküntüleri, diş minesini defektleri gibi belirtiler de görülebilmektedir (Jnawali vd., 2016; Oxentenko vd., 2019).

Çölyak hastalığı dünya çapında %0.67 prevalansa sahip küresel bir hastalık haline gelmiştir (Mehta vd., 2024). Türkiye’de tanısı konmuş çölyak hastalarının sayısı yaklaşık 75 bin iken bu sayı toplam çölyak hasta sayısının %10 kadarını belirttiği düşünülmektedir (Gençay ve Mert, 2023). Çölyak hastalığının tek tedavi yöntemi ömür boyu glutensiz bir diyet uygulamaktır. Glutenden tamamen kaçınılması bağırsağın iyileşmesini, beslenme eksikliklerinin ve diğer semptomların düzelmesini sağlar (Jnawali vd., 2016). Bununla birlikte, glutensiz bir diyet uygulamak basit gibi görünse de kolay değildir. Çölyak hastalarının başlıca sorunları; istedikleri her an ve her yerde taze olarak glutensiz ürün bulunmaması, glutensiz ürünlerin başta besin öğeleri olmak üzere duyuşsal anlamda tat ve lezzet yönünden eksik olması, teknolojik kalitelerinin gluten içeren muadillerine göre düşük olması, çapraz bulaşma riski, yüksek maliyet ve bilgi eksikliği olarak sayılabilir (Demirkesen ve Özkaya, 2022). Tüm yaş gruplarında görülen asıl sorunlardan bir diğeri ise yetersiz etiketleme ve glutensiz sembolüyle etiketlenmeyen gıdalardaki glutene kazara maruz kalmaktır (Kostecka vd., 2022). Glutensiz diyet ile beslenen bireylerin %20-38 gibi bir oranında diyet lif, protein, mineral ve vitaminler gibi besin öğeleri açısından eksiklik görülmektedir (Saturni vd., 2010). Türkiye’de üretilen glutensiz makarna, bisküvi, şehriye ve tuzlu gevrek gibi ürünlerin yüksek maliyetinin yanında protein içeriğinin düşük olduğu bildirilmiştir (Sevim vd., 2023).

Glutensiz gıda pazarı, çölyak tanısı konan hastaların sayısındaki artış, glutene karşı önyargı/hassasiyet konusundaki bilinçlenme, sağlıklı yaşam davranışı gibi nedenlerle her geçen gün büyümektedir (Bastiawan vd., 2022; Demirkesen ve Özkaya, 2022). Bu sebeple, glutensiz ürünlerin üretiminde çeşitliliğin artırılması ve alternatif unlu mamullerin geliştirilmesi gereklilik haline gelmiştir. Ayrıca, glutensiz ürünlerin besin değerlerinin artırılması konusunda da yapılan çok sayıda çalışma bulunmaktadır (Gül vd., 2021; Kaur vd., 2022; Blicharz-Kania vd., 2023; Odabaş ve Çakmak, 2023; Peñalver vd., 2024). Bu bağlamda Isparta gülü, glutensiz ürünlerin besin değerlerini artırmak amacıyla potansiyel bir kaynak olarak değerlendirilebilir.

Rosa damascana 18000’den fazla türü olan *Rosaceae* familyasının bir üyesi olup yenilebilen ekonomik bir süs bitkisidir (Pourebrahim vd., 2019; Xu vd., 2022). Dünyanın önde gelen gülyağı üreticisi ülkelerinden birisi olan Türkiye’de, Isparta başta olmak üzere Burdur, Afyon ve Denizli illerinde gül tarımı yapılmaktadır (Gül, 2000). *Rosa damascana* yapısındaki esansiyel yağ asitleri, C vitamini, polifenoller nedeniyle antispazmodik, antibakteriyel, antioksidan, kardiyovasküler önleyici, antitussif, antidepresan, anti-enflamatuar, antimitojenik, diüretik, cilt koruyucu hipnotik ve antidiyabetik etki göstermektedir (Boskabady vd., 2011; Kheirhahan vd., 2020; Labban ve Thallaj, 2020; Tarbiat vd., 2020; Qiu vd., 2021; Trendafilova vd., 2023).

Gül yaprakları toplam fenolik madde, antioksidan ve antosiyanin içeriği bakımından meyvelere oranla daha zengin ürünlerdir (Siresha ve Mahalakshmi, 2013; Hnin vd., 2021). Bu nedenle gıda ürünlerinin zenginleştirilmesi için çeşitli amaçlarla kullanılmaktadır. Gül yapraklarından elde edilen ekstrakt çilek ezmesine ilave edildiğinde renk yoğunluğunu arttırmıştır (Dinkova vd., 2022). İlave edildiği bisküvilerde ise antioksidan aktivite, toplam fenolik madde miktarını artırmasının yanında raf ömrünün artmasını sağlamıştır (Hnin vd., 2021). Benzer şekilde Gül ve Tekeli (2018 ve 2019) tarafından glutenli ve glutensiz bisküvilerde *Rosa damascena* Mill. Yaprak tozu ilavesi ile bisküvilerin besin değerinin arttığı bildirilmiştir. Farklı kurutma metotları kullanılan gül yapraklarının ilave edildiği cipslerde C vitamini ve flavonoid miktarını arttığı belirlenmiştir (Qiu vd., 2020). Sonuç olarak, yaprakların ve ekstraktlarının diğate değer biyoaktif özellikleri kozmetik, gıda ve ilaç endüstrilerinde yenilikçi uygulamalar için umut verici bir yol teşkil etmektedir. Bununla birlikte yeni ürün tasarımı, ürünlerin hem uluslararası hemde ulusal arenada tanıtımının yapılması gül sektörünün sürdürülebilirliği açısından önem arz etmektedir (Gül vd., 2015).

Dondurma günümüzde yaz ya da kış fark etmeksizin dört mevsim tüketilebilen özellikle çocuklar tarafından çok sevilen bir gıda ürünüdür. Açıkta ya da ambalajlı olarak satılan dondurmalarda külahların çikolata gibi çeşitli dolgular ile doldurulması, kornet tipi dondurma külahlarının farklı içerik ve tatta üretilmesi ile birlikte dondurma külahlarına karşı olan ilgi artış göstermiştir. Ancak çölyak hastaları ile yapılan görüşmeler neticesinde özellikle çocukların çok sevdiği dondurmaya külahı ile birlikte tüketemedikleri, glutensiz dondurma külahı bulma konusunda sıkıntılar yaşadıkları tespit edilmiştir.

Yapılan literatür taramasında Isparta gül yaprağı ununun gofret ve dondurma külahı üretiminde kullanıldığına dair bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmada; tüketicilerin sentetik gıda katkı maddelerinin doğal alternatiflerle ikame edilmesine yönelik artan talepleri ve çölyak hastalarının glutensiz dondurma külahı ve gofret bulma konusunda yaşadıkları sıkıntılar dikkate alınarak gül yaprağı ununun glutensiz dondurma külahı üretiminde kullanılabilirliğinin araştırılması amaçlanmıştır. Bununla birlikte Isparta bir gül şehri olduğu için kurutulmuş gül yaprağı ununun glutensiz dondurma külahı üretiminde kullanılarak katma değerinin artırılması, alternatif kullanım alanlarının oluşturulması, Isparta ilinin kültür ve turizmüne katkı sağlanması hedeflenmiştir.

2. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

2.1. Materyal (Material)

Çalışmada kullanılan Isparta gül yaprağı unu Kurucum Gıda (Isparta)'dan, glutenli dondurma külahlarının üretiminde kullanılan bisküvilik un Türkmenler Un Fabrikası (Gaziantep)'nden satın alınmıştır. Glutensiz dondurma külahlarının üretiminde kullanılan pirinç unu, mısır unu, patates nişastası, mısır nişastası bitkisel sıvı yağ, yemeklik tuz ve kabartma tozu (sodyum bikarbonat) yerel tedarikçilerden, ksantan gam Selim Esans Deposu Kimyevi Maddeler İthalat ve Toptan Dahili Ticaret Ltd. Şti (İzmir)'den, toz formundaki soya lesitini ise Smart Kimya Tic.ve Danışmanlık Ltd. Şti. (İzmir)'den satın alınmıştır.

2.2. Yöntem (Method)

Optimum düzeyde GYU ilave oranı yapılan ön denemeler sonucunda belirlenmiştir. Bu ön denemelerde GYU glutensiz un karışımı ile %10, %20 ve %30 oranlarında ikame edilerek dondurma külahları üretilmiş ve bu ürünlerde duyusal test yapılmıştır. %10 ikame düzeyinden sonra dondurma külahlarının duyusal olarak kabul edilebilirliği azalmıştır. Özellikle %30 oranında GYU ikamesinde dondurma külahlarının ağızda hoş olmayan bir aroma ve tat bıraktığı panelistler tarafından bildirilmiştir. %10 ilave oranında ise duyusal olarak kabul edilebilir nitelikte bir ürün üretimi sağlanmıştır. Bu ön denemeler doğrultusunda çalışmada %10 GYU ikamesi ile glutensiz dondurma külahı üretimleri yapılmış ve tüm analizler glutenli ve glutensiz kontrol örnekleri ile birlikte bu örnek üzerinde gerçekleştirilmiştir.

2.2.1. Dondurma Külahlarının Üretiminde Kullanılan Formülasyon (Formulation Used in The Production Of Ice Cream Cones)

Glutenli ve glutensiz dondurma külahı üretimi Gül vd. (2019)'da belirtilen yöntemle yapılmıştır. Glutensiz dondurma külahı üretiminde kullanılan glutensiz un karışımı Hayıt ve Gül (2018) tarafından belirlenen oranlara göre hazırlanmıştır. Tablo 1'de glutenli ve glutensiz dondurma külahı üretiminde kullanılan formülasyon verilmiştir. Su miktarı her üç hamurun viskozitesi aynı olacak şekilde ayarlanmıştır. %10 GYU ,ikameli glutensiz gofret yapraklarının hazırlanmasında daha fazla su kullanılmasının nedeni GYU ilavesi ile karışımın diyet lif içeriğinin artmasıdır. Diyet lifler kendi ağırlıklarının yaklaşık 10 katı kadar su absorbe ederler.

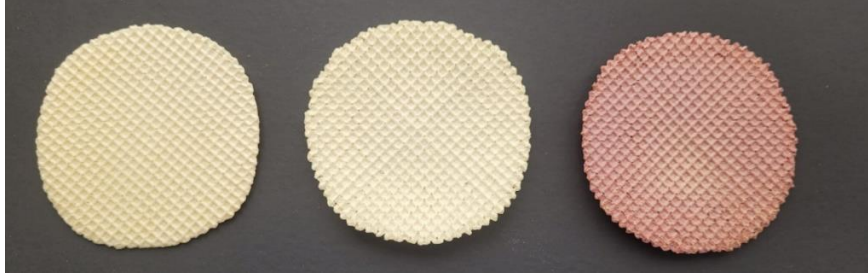
Tablo 1. Glutenli/glutensiz dondurma külahı üretiminde kullanılan formülasyon (Formulation used in the production of gluten/gluten-free ice cream cones)

KULLANILAN BİLEŞENLER	GLUTENLİ	GLUTENSİZ	GYU10-GLUTENSİZ
Bisküvilik un	100 g	-	-
Sodyum bikarbonat	0.4 g	0.4 g	0.4 g
Tuz	0.5 g	0.5 g	0.5 g
Lesitin	0.5 g	0.5 g	0.5 g
Bitkisel sıvı yağ	1 ml	1 ml	1 ml
Su	155 ml	155 ml	200 ml
Pirinç unu	-	40 g	36 g
Patates nişastası	-	45 g	40.5 g
Mısır unu	-	8 g	7.2 g
Mısır Nişastası	-	7 g	6.3 g
Ksantan gam	-	0.5 g	0.5 g
GYU*	-	-	10 g

*: GYU (Gül yaprağı unu) glutensiz un karışımı ile (pirinç unu, patates nişastası, mısır unu, mısır nişastası) yer değiştirme prensibine göre %10 oranında ilave edilmiştir.

2.2.2. Dondurma Külâhı Üretim Aşamaları (Ice Cream Cone Production Stages)

Dondurma külâhı üretiminde kullanılan gofret yaprağı hamuru hazırlanmasında Gül vd. (2019) ve Nasabi vd. (2021) tarafından belirtilen yöntemlerde bazı modifikasyonlar yapılarak uygulanmıştır. Çırpma kabına konulan su içerisinde sodyum bikarbonat ve tuz ilave edilmiştir ve suda tamamen çözünene kadar 30 saniye el tipi mikser ile çırpılmıştır. Daha sonra karışıma un veya glutensiz un karışımları ve ksantan gam ilave edilip 1.5 dakika çırpılmıştır. Son olarak karışıma bitkisel yağ ve lesitin eklenerek 30 saniye daha çırpılmıştır. Hamur içerisindeki gazların yüzeye çıkması için hamurlar yaklaşık 5 dakika dinlendirilmiş ve 18 ± 1 g ağırlığında olacak şekilde tartılmıştır. Daha sonra hamurlar laboratuvar tipi gofret pişirme makinasında (Remta kornet pişirici, Remta Makine İthalat İhracat Sanayi ve Tic. Ltd, Şti, İstanbul, Türkiye) ön denemeler ile belirlenen sıcaklık ve sürede (250°C 'de 60 ± 5 saniye) pişirilmiştir. Daire şeklinde üretilen gofret yapraklarına (Şekil 1) el tipi dondurma külâhı aparatı kullanılarak dondurma külâhı şekli verilmiştir (Şekil 2). Ancak karşılaştırma işlemlerinin daha doğru yapılabilmesi için analizler dondurma külâhı şekli verilmemiş daire şeklindeki gofret yapraklarında yapılmıştır.



Şekil 1. Dondurma külâhı üretiminde kullanılan gofret yaprakları; soldan sağa: glutenli, glutensiz ve %10 gül yaprağı unu katkılı glutensiz (Wafer sheets used in ice cream cone production; from left to right: gluten, gluten-free and gluten-free with 10% rose petal flour)



Şekil 2. Dondurma külâhı yapım işlemi ve üretilen glutensiz ve %10 GYU ikameli glutensiz dondurma külâhları (Ice cream cone making process and produced gluten-free and gluten-free ice cream cones with 10% rose petal flour)

2.2.3. Hamur Analizleri (Batter Analysis)

Glutenli ve glutensiz gofret yaprağı hamurlarında hamur yoğunluğu ve pH analizleri yapılmıştır. Hamur yoğunluğu, hamurla veya eşit hacimde suyla doldurulmuş 100 ml'lik dereceli bir silindirde tartılarak ve ağırlıklar bölünerek hesaplanmıştır (Doğan 2006).

2.2.4. Çap, Kalınlık, Ağırlık ve Pişme Kaybı Analizi (Diameter, Thickness, Weight And Baking Loss Analysis)

Pişirme sonrası gofret yaprakları oda sıcaklığında 30 dakika soğutulduktan sonra çap ve kalınlıkları dijital kumpas aleti ile, ağırlıkları ise laboratuvar tipi dijital terazi ile ölçülmüştür. Pişme kaybı değerleri aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır (Naderi vd., 2023).

$$\text{Pişme kaybı (\%)} = \frac{W_b - W_s}{W_b} \times 100 \quad (1)$$

W_b: Gofret hamuru ağırlığı, W_s: Pişirme sonrası gofret yaprağının ağırlığı

2.2.5. Renk Analizleri (Diameter, Thickness And Color Analysis)

Renk ölçümü için renk ölçüm aleti (Minolta CR-410, Minolta Co Ltd., Tokyo, Japonya) kullanılmıştır. Düz bir zeminde gofret yapraklarının üç farklı yerinden ölçüm yapılarak renk bileşenleri L* (parlaklık, açıklık-koyuluk), a* (kırmızılık), b* (sarılık) ve delta E* (renk farkı) değerleri ölçülmüştür (Nasabi ve ark., 2021). Kahverengileşme indeksi ise aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{Kahverengileşme indeksi} = [100 (x-0.31)/0.17] \quad (2)$$

$$X = (a^* + 1.75L^*) / (5.645L^* + a^* - 0.3012b^*)$$

2.2.6. Tekstür Analizi (Texture Analysis)

Gofret yapraklarının tekstürel ölçümleri Mert vd. (2015)'na göre Tekstür analiz cihazı (8TA-XT2, Stable Micro Systems, Surrey, İngiltere) kullanılarak yapılmıştır. Örnekler 4x4 cm ebatlarında kesildikten sonra cihaza takılan üç noktalı bükme probu (three point bend) ile gofret yapraklarının sertlik ve kırılma/gevreklik değerleri tespit edilmiştir. Analiz parametreleri; 5 kg'lık yük hücresi, ön test hızı 1.0 mm/s, test hızı 3.0 mm/sn, test sonrası hız 10 mm/sn, mesafe 5.0 mm ve veri toplama hızı 500 pps'dir.

2.2.7. Nem, Kül ve Toplam Diyet Lif Analizleri (Moisture, Ash And Total Dietary Fiber Analysis)

Gofret yaprakları porselen havan ile küçük parçacıklar haline getirildikten sonra AACC Metot 44-01.01'e göre nem, AACC Metot 08-01.01 (AACC, 2000)'e göre kül miktarı belirlenmiştir. Toplam diyet lif analizi, AACC Metot 32-05.01 (AACC, 2000)'e göre yapılmıştır. Toplam diyet lif test kiti (Megazyme International Ireland) kullanılmıştır. Gofret yaprakları küçük partikül haline getirildikten sonra öncelikle yağları soxhlet yağ tayin cihazında uzaklaştırılmıştır. Yağsız örneklerde yöntemde belirtilen işlemler uygulandıktan sonra gofret yapraklarının toplam diyet lif miktarı % olarak hesaplanmıştır.

2.2.8. Toplam Fenolik Madde ve Antioksidan Aktivite Analizleri (Total Phenolic Matter And Antioxidant Activity Analysis)

Gofret yapraklarından toplam fenolik madde miktarı Singleton ve Rossi, (1965)'ye göre yapılmıştır. Ekstrakte edilen örneklerin spektrofotometre (UV-1601 Shimadzu)'de 650 nm'de absorbans değerleri ölçülmüş ve standart olarak gallik asit çözeltisi kullanılarak oluşturulan grafikten yararlanılarak toplam fenolik madde miktarı g/kg GAE (gallik asit eşdeğeri) olarak hesaplanmıştır. Antiradikal aktivite Dorman vd. (2003)'e göre yapılmıştır. DPPH yöntemi uygulanmış ve antioksidan aktivite değerleri % olarak hesaplanmıştır.

2.2.9. Duyusal Analiz (Sensory Analysis)

Duyusal analiz için Mert vd. (2015) ile Naderi vd., (2023) tarafından belirtilen yöntemler modifiye edilerek uygulanmıştır. Gofret yaprakları 20 panelist (18 yaş üstü yetişkin ve gönüllü, 10 erkek 10 kadın) tarafından duyusal analize tabi tutulmuştur. Duyusal analizde glutenli örnekler de bulunduğu için bu test çölyak hastalarına yaptırılmamış sağlıklı yetişkin bireylere yaptırılmıştır. Duyusal analiz öncesi panelistlere kısa bir eğitim verilmiştir. Örnekler rastgele numaralandırıldıktan sonra panelistlere ayrı ayrı sunulmuş ve bir örnekten diğerine geçerken soğuk su verilerek ağız hislerinin nötrlenmesi sağlanmıştır. Örneklerin puanlandırılmasında 5 puanlık hedonik skala kullanılmıştır. Bu skalaya göre 1 puan çok kötü, 2 puan yeterli değil, 3 puan kabul edilebilir, 4 puan iyi ve 5 puan ise çok iyi şeklinde yapılmıştır. Gofret yaprakları; dış görünüm, yüzey rengi, yüzey düzgünlüğü, koku, aroma, çiğnenebilirlik, gevreklik, tat/lezzet, genel beğeni ve satın alınabilirlik açısından değerlendirilmiştir.

2.2.10. İstatistiksel Analizler (Statistical Analysis)

Denemeler üç tekerrür ve 3 paralel olarak yürütülmüştür. Glutenli ve glutensiz dondurma külahları ile %10 oranında GYU ikamesinin etkileri arasındaki önemli farklılıkları belirlemek için varyans analizi (ANOVA) yapılmış ($p \leq 0.05$) ve hazırlanan gofret yapraklarının ölçülen tüm özelliklerine ilişkin değerler SPSS (Versiyon 16.0) istatistik programı ile Duncan Çoklu Karşılaştırma Testine tabi tutulmuştur.

3. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

3.1. Hamur Analiz Sonuçları (Batter Analysis Results)

Dondurma külahı hamurlarının hamur yoğunluğu (g/cm^3) ve pH değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Dondurma külahı hamurlarının hamur yoğunluğu ve pH değerleri (Density and pH values of ice cream cone batters)

ÖRNEK ADI	HAMUR YOĞUNLUĞU (g/cm^3)	pH
Glutenli	1.08 ^b ±0.02	7.37 ^b ±0.01
Glutensiz	1.13 ^a ±0.06	7.69 ^a ±0.02
GYU10-Glutensiz	1.06 ^b ±0.08	6.96 ^c ±0.07

Glutenli, glutensiz ve %10 GYU katkılı glutensiz dondurma külahı hamurlarının yoğunluk değerleri 1.06-1.13 g/cm³ arasında bulunmuştur. En yüksek hamur yoğunluğu değerini glutensiz dondurma külahına ait hamur göstermiştir. Hamur yoğunlukları Doğan (2006) tarafından gofret hamurları için bildirilen 1.11-1.19 g cm⁻³ sonuçları ile benzer değerler arasındadır. Dorohovych vd. (2018), karabuğday, mısır, pirinç ve buğday unu ile hazırladıkları gofret hamurlarının yoğunluklarını sırasıyla 1.113, 1.083, 1.065, 1.053 g/cm³ olarak saptamışlardır. Bu yoğunluk değerleri de bizim bulgularımız ile benzerlik göstermektedir. Araştırmacılar pirinç ve mısır unu ile hazırladıkları gofret yapraklarının yoğunluk değerlerinin buğday unu ile hazırlanan hamurlara göre daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir. Bizim çalışmamızda da glutensiz hamurların bileşiminde pirinç unu ve mısır unu oransal olarak daha fazla bulunduğu için yoğunlukları %10 GYU ikemeli ve buğday unu ile üretilen glutenli hamurlara göre daha fazla bulunmuştur.

3 farklı hamur çeşidinin pH değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı farklar tespit edilmiştir. En yüksek pH değeri glutensiz hamurlarda, en düşük pH değeri ise gül yaprağı unu katkılı örneklerde ölçülmüştür. Gül yaprağı ununun fenolik madde içeriği yüksek olduğundan hamurun pH değerinde sınırlı düzeyde bir azalmaya neden olmuştur. Diğer taraftan %10 GYU ikemeli glutensiz hamurların pH değeri (6.96) nötr pH'ya (7.0) çok yakın olduğu için hamur renklerinde herhangi bir bozulma meydana gelmemiş, gül'ün doğal renginde bir hamur eldesi mümkün olmuştur. Başlıca fenolik bileşenlerden olan antosiyaninlerin renk değişimleri hassas olup farklı pH değerlerinde değişir (Tang vd., 2019). Örneğin pH değerindeki %0.1'lik bir artış bile renk yoğunluğunda yaklaşık %5'lik bir azalmaya neden olabilmektedir. Dolayısıyla çalışmamızda kullanılan glutensiz un formülasyonu ve %10'luk GYU ikamesi hamur pH'sında çok önemli bir artış oluşturmadığı için hamur renginin muhafaza edilmesini sağlamıştır.

3.2. Çap, Kalınlık, Ağırlık ve Pişme Kaybı Değerleri (Diameter, Thickness And Color Values)

Dondurma külahı üretiminde kullanılan gofret yapraklarının pişme ve oda sıcaklığında 30 dakika soğutma sonrası ölçülen, çap, kalınlık, ağırlık ve pişme kaybı değerleri Tablo 3'de gösterilmiştir.

Tablo 3. Gofret yapraklarının çap, kalınlık, ağırlık ve pişme kaybı değerleri (Diameter, thickness, weight and baking loss values of wafer sheets)

ÖRNEK ADI	ÇAP (mm)	KALINLIK (mm)	AĞIRLIK (g)	PİŞME KAYBI (%)
Glutenli	136.63 ^a ±0.98	2.14 ^a ±0.24	7.10 ^b ±0.11	61.66 ^c ±0.11
Glutensiz	123.00 ^b ±1.55	1.65 ^b ±0.10	7.75 ^a ±0.12	58.68 ^b ±0.12
GYU10-Glutensiz	120.90 ^c ±2.09	1.29 ^c ±0.27	5.95 ^c ±0.07	67.87 ^a ±0.07

Gofret yapraklarının çap ve kalınlık değerleri glutenli örneklerde glutensiz örneklere göre daha yüksek bulunmuştur. En düşük çap ve kalınlık değeri %10 gül yaprağı unu katkılı örneklerde tespit edilmiştir. Buğday ununda bulunan gluten nedeniyle glutenli örneklerin hem çapları hem de kalınlık değerleri gluten içermeyen muadillerine göre daha yüksek bulunmuştur.

Pişme sonrası ağırlıkları en fazla olan glutensiz örneklerin pişme kaybı değerleri de daha az ölçülürken, %10 GYU ikemeli örneklerin ağırlıkları daha az buna karşın pişme kaybı değerleri daha fazla bulunmuştur. Benzer şekilde gofret formülasyonlarında üzüm posası (Altınok vd., 2022) ve kestane unu (Mert vd., 2015) kullanılması da, muhtemelen bu unların daha yüksek diyet lifi içeriğinden dolayı istenen viskozite için gerekli su miktarını artırmıştır. Gofret pişirme makinasına tek bir örnek için konulan hamur miktarı her üç örnek için de sabit tutulmuştur. Dolayısıyla pişirme sırasında GYU katkılı örneklerin bileşimde oransal olarak su miktarı daha fazla olduğu için bu su buharlaşarak GYU katkılı gofret yapraklarında hem örnek ağırlığının azalmasına hem de pişme kaybının diğerlerine göre daha fazla olmasına yol açmıştır.

3.3. Renk Değerleri (Color Values)

Glutenli, glutensiz ve %10 GYU ikemeli gofret yapraklarının L*, a*, b* ve delta E* renk değerleri Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4. Gofret yapraklarının renk değerleri¹ (Color values of wafer sheets)

ÖRNEK ADI	L*	a*	b*	DELTA E*	Kahverengileşme indeksi
Glutenli	74.08 ^b ±1.21	-0.87 ^b ±0.33	20.51 ^a ±5.12	21.59 ^b ±0.42	1.89 ^b ±0.91
Glutensiz	77.81 ^a ±0.04	-1.01 ^b ±0.32	19.00 ^a ±1.00	25.33 ^a ±1.19	1.47 ^b ±0.41
GYU10-Glutensiz	44.29 ^c ±0.94	8.21 ^a ±0.49	8.27 ^b ±0.72	12.47 ^c ±1.21	14.82 ^a ±0.88

¹Aynı sütunda aynı harflerle gösterilen ortalamalar arasında istatistiksel olarak önemli fark yoktur (P > 0.05).

Tablo 4'den de görülebileceği gibi glutensiz gofret yapraklarının rengi glutenli olanlara göre daha açıktır. Bu açık renk glutensiz gofret formülasyonunda bulunan nişasta'dan kaynaklanmaktadır. Glutenli gofret üretiminde daha parlak bir gofret rengi elde etmek için buğday ununun bir kısmının patates veya tapyoka gibi beyaz bir nişasta ile değiştirilmesi önerilmektedir (Tiefenbacher, 2017). Glutensiz %10 gül yaprağı unu ikamesi ile gofret yaprakları oldukça koyu bir renk almış hem glutenli hem de glutensiz örnekler ile arasında önemli ($P<0.05$) bir renk farkı oluşmuştur. Bu renk farkları gofret yapraklarının görsellerinden (Şekil 1) de net bir şekilde görülebilmektedir. Gofret pişirmede sarımsı ila kahverengimsi renk, hem undaki pigmentlerden hem de Maillard reaksiyonları ile enzimatik olmayan kahverengileşmeden gelir (Tiefenbacher, 2017). GYU ilaveli gofret yapraklarının koyu rengi GYU bileşiminde bulunan polifenollere ve şekerlere atfedilebilir. Şekerler, gofretlerin pişirilmesi sırasında daha fazla maillard ve karamelizasyon reaksiyonunu tetikleyerek daha koyu bir renk elde edilmesine neden olmuş olabilir (Altınok vd., 2022). Glutenli ve glutensiz gofret yaprakları ile %10 GYU ikameli glutensiz gofret yapraklarının a^* ve b^* değerleri arasında önemli farklar ($P<0.05$) belirlenmiştir. GYU ikamesi ile gofret yapraklarının a^* değerleri belirgin bir şekilde artarken b^* değerleri azalmıştır. %10 GYU katkılı örnekler göre çok daha düşük olarak ölçülmüştür. Delta E en fazla glutensiz örneklerde saptanırken onu glutenli örnek takip etmiştir. GYU ilavesi ile örneklerin delta e değerleri anlamlı bir şekilde azalma göstermiştir. Kahverengileşme indeksi glutenli ve glutensiz örneklerde benzer değerler gösterirken, GYU ikamesi ile bu değer önemli oranda artmıştır. L^* değerinin azalması yani üründe koyulaşma oldukça kahverengileşme indeksinin sayısal değeri de yükselmektedir.

3.4. Tekstür Analiz Değerleri (Texture Analysis Values)

Glutenli, glutensiz ve %10 GYU ikameli gofret yapraklarının tekstür analiz cihazında yapılan analiz sonucunda elde edilen sertlik ve kırılmalık değerleri Tablo 5'de verilmiştir.

Tablo 5. Gofret yapraklarının tekstür değerleri¹ (Texture values of wafer leaves)

ÖRNEK ADI	SERTLİK (mm)	KIRILGANLIK (mm)
Glutenli	221.86 ^c ±16.46	33.59 ^a ±0.28
Glutensiz	487.67 ^a ±13.77	31.89 ^b ±2.34
GYU10-Glutensiz	376.50 ^b ±17.37	31.45 ^b ±0.60

¹Aynı sütunda aynı harflerle gösterilen ortalamalar arasında istatistiksel olarak önemli fark yoktur ($P > 0.05$).

Glutenli ve glutensiz örneklerin sertlik değerleri arasında anlamlı farklar ($P<0.05$) tespit edilmiştir. Glutenli gofret yaprağının sertlik değerleri ile karşılaştırıldığı zaman glutensiz gofret yapraklarının sertlik değeri iki katından daha fazla bir artış göstermiştir. Glutensiz formülasyonda bulunan pirinç unu, patates nişastası ve mısır ununun bu sertlik artışına neden olduğu düşünülmektedir. Benzer şekilde Mert vd. (2015) mısır ve pirinç ununun karışımıyla hazırlanan glutensiz gofret örneklerinin buğday unu ile hazırlanan örnekler göre daha yüksek sertlik değerine sahip olduğunu rapor etmişlerdir. Diğer taraftan glutensiz un karışımı formülasyonu %10 oranında GYU ile değiştirildiği zaman gofret yapraklarının sertlik değerleri önemli düzeyde düşüş sergilemiştir. Bu azalmanın nedeni GYU'nun bileşimindeki diyet lifler nedeniyle daha su bağlamasıdır. %10 GYU ikameli glutensiz gofret yapraklarının nem değerleri diğer örnekler göre daha fazla olarak saptanmıştır. Nem değerinin yüksek olması da sertlik değerindeki azalmayı açıklamaktadır. Glutenli örneklerin kırılmalıkları ise glutensiz örnekler göre daha fazla olarak ölçülmüştür. Glutensiz gofret yaprakları ile %10 GYU ikameli gofret yapraklarının kırılmalık değerleri arasında önemli bir fark ($P>0.05$) tespit edilmemiştir.

3.5. Nem, Kül, Toplam Diyet Lif, Toplam Fenolik Madde ve Antioksidan Aktivite Değerleri (Moisture, Ash, Total Dietary Fiber, Total Phenolic Matter And Antioxidant Activity Values)

Glutenli, glutensiz ve %10 GYU ikameli gofret yapraklarının nem, kül, toplam diyet lif, toplam fenolik madde ve antioksidan aktivite değerleri Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. Gofret yapraklarının nem, kül, toplam diyet lif, toplam fenolik madde ve antioksidan aktivite değerleri¹ (Moisture, ash, total dietary fiber, total phenolic matter and antioxidant activity values of wafer leaves)

ÖRNEK ADI	NEM (%)	KÜL (%)	TDL (%)	TFM (mg GAE/g örnek)	ANTIOKSİDAN AKTİVİTE (%)
Glutenli	6.08 ^b ±0.41	1.27 ^b ±0.03	5.27 ^b ±0.67	6.03 ^b ±0.03	2.93 ^b ±0.25
Glutensiz	6.24 ^b ±0.23	0.87 ^c ±0.05	5.03 ^b ±0.10	0.68 ^c ±0.02	1.78 ^c ±0.01
GYU10-Glutensiz	7.34 ^a ±0.35	1.55 ^a ±0.04	12.03 ^a ±0.15	29.83 ^a ±0.02	15.97 ^a ±0.05

¹Aynı sütunda aynı harflerle gösterilen ortalamalar arasında istatistiksel olarak önemli fark yoktur ($P > 0.05$). TDL: Toplam diyet lif, TFM: Toplam fenolik madde

Gofret yapraklarının nem değerleri glutenli ve glutensiz kontrol örneklerinde anlamlı bir fark göstermezken %10 gül GYU ikameli örneklerin nem değerleri daha yüksek bulunmuştur. Bu durum GYU bileşiminde bulunan diyet liflerin fazla su absorbe etmesi ve hamur hazırlama aşamasında bu örneklerle daha fazla su ilave edilmesinden kaynaklanmaktadır.

Örneklerin mineral madde içeriğinin bir göstergesi olan kül değerleri bakımından üç örnek karşılaştırıldığında ise; glutensiz kontrol örneğinin kül değerinin en düşük, %10 GYU ikameli glutensiz gofret yaprağının ise en yüksek kül değerine sahip olduğu saptanmıştır. Bu sonuç gül yaprağı ilavesi ile hem glutenli hem de glutensiz gofret yapraklarının mineral madde açısından zenginleştiğini göstermektedir.

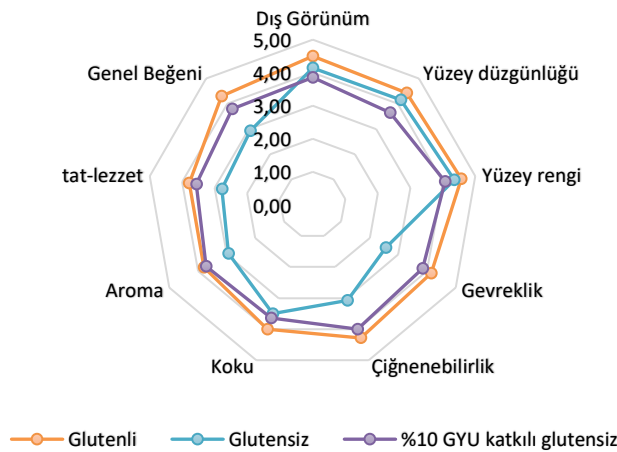
Tablo 6'dan da görülebileceği gibi glutenli ve glutensiz gofret yapraklarının toplam diyet lif değerleri yaklaşık aynı sınırlarda iken glutensiz gofret yapraklarının %10 oranında GYU ile zenginleştirilmesi bu değeri iki katından daha fazla bir oranda arttırmıştır. Çölyak hastalarının beslenmeleri için üretilen glutensiz ürünler genellikle karbonhidrat ağırlıklı oldukları için diyet lif açısından fakirdirler. Elde edilen sonuç GYU'nun çölyak hastaları için üretilecek glutensiz ürünlerin toplam diyet lif içeriğinin artırılması amacıyla kullanılacak mükemmel bir kaynak olduğunu göstermektedir.

Gofret yapraklarının toplam fenolik madde değerleri incelendiği zaman glutensiz olarak üretilen örneklerin toplam fenolik madde değerlerinin glutenli örneklerle göre çok düşük olduğu belirlenmiştir (Tablo 6). Burada dikkat çeken nokta ise glutensiz gofret formülasyonuna %10 oranında GYU ikame edildiği zaman son ürünün toplam fenolik madde miktarı glutensiz ve glutenli örneklerle göre önemli düzeyde yükselmiştir. Bu sonuçlar GYU'nun hem glutensiz dondurma külahı üretiminde kullanılacak gofret yapraklarının hem de diğer glutensiz ürünlerin zenginleştirilebilmesi amacıyla kullanılacak potansiyel bir kaynak olduğunu göstermektedir.

Gofret yapraklarının antioksidan aktivite değerleri toplam fenolik madde değerleri ile paralellik göstermiş yani glutensiz örneklerde glutenli örneklerle göre azalmıştır. Ancak formülasyona GYU dahil edildiği zaman antioksidan aktivite değerinin önemli ölçüde arttığı saptanmıştır (Tablo 6). Elde edilen bu bulgular çölyak hastaları için üretilecek dondurma külahı, gofret çeşitleri, bisküvi, makarna vb. ürünlerde GYU'nun doğal bir antioksidan kaynağı olarak kullanılabileceği sonucuna ulaşılmasını sağlamıştır.

3.6. Duyusal Analiz Sonuçları (Sensory Analysis Results)

Glutenli, glutensiz ve %10 gül yaprağı unu katkılı gofret yapraklarının duysal analiz sonuçları Şekil 3'de verilmiştir. Sağlık riski nedeniyle duysal analiz çölyak hastası olan bireylere yaptırılmamıştır. Sağlıklı yetişkin bireylerin panelist olarak yer aldığı duysal analizler sonucunda glutenli örnekler glutensiz örneklerle göre daha çok beğenilmiştir. Bu durum beklenen bir sonuçtur. Çünkü sağlıklı yetişkin bireyler glutenli beslenmeye alışkın oldukları için glutensiz ürünler kendileri tarafından daha az beğenilmektedir. Burada önemli olan nokta glutensiz gofret yaprakları kendi içerisinde karşılaştırıldığı zaman genel olarak %10 GYU ikamesi ile glutensiz örneklerde genel beğeni artış göstermiştir. Özellikle gevreklik, çiğnenebilirlik, tat-lezzet ve aroma bakımından %10 GYU ikameli glutensiz örnekler GYU içermeyen glutensiz örneklerle göre daha fazla puan almıştır. Dondurma külahı üretiminde kullanılan gofret yaprakları satın alınabilirlik açısından duysal değerlendirildiğinde glutenli örneklerin satın alınabilirlik değeri glutensiz örneklerle göre daha fazla bulunmuştur. Ancak burada önemli olan nokta glutensiz gofret yapraklarına %10 GYU ikame edildiği zaman satın alınabilirlik değerlerinde artış görülmüş olmasıdır.



Şekil 3. Duyusal analiz sonuçları (Sensory analysis results)

4. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Çalışmanın amacı çölyak hastalarına yönelik olarak GYU ile zenginleştirilmiş teknolojik ve duyuşal özellikler bakımından kabul edilebilir nitelikte glutensiz dondurma külahı geliştirmektir. %10 GYU katkılı glutensiz gofret yapraklarının çapları ve kalınlıkları daha ince bulunmuştur. Gofret yapraklarının ince olması önemli bir kalite kriteridir. GYU ilavesi ile gofret yapraklarının diyet lif içeriği artmıştır. Diyet liflerin kendi ağırlıklarının yaklaşık 10 katı su absorbe etme özellikleri nedeniyle hamur aşamasında arzu edilen viskozitede bir gofret hamuru elde etmek için daha fazla su eklenmiştir. Pişirme işlemi sırasında bu suyun buharlaşması sonucu daha ince ve ağırlık olarak daha hafif gofret yaprakları elde edilmiştir. Bu sonuç dondurma külahı üretiminde istenilen bir kriterdir. GYU ilavesi ile gofret yapraklarının renkleri koyulaşmış, kül yani mineral madde içerikleri artmıştır. Bu bulgular çölyak hastaları için üretilen ve genellikle nişasta bazlı dolayısıyla karbonhidrat bakımından yüksek ancak diyet lif ve mineral madde açısından fakir olan glutensiz ürünlerin diyet lif ve mineral madde içeriğinin artırılması bağlamında oldukça yararlı olacaktır. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ile Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) yetişkin bireylerin günlük 25 gram diyet lif almasını önermektedir. Bu öneri doğrultusunda çalışmada üretilen bir adet glutensiz dondurma külahı içermiş olduğu %15 oranındaki diyet lif miktarı ile sağlıklı beslenme anlamında önemli katkılar sağlayacaktır. Gül yaprağı unu gibi doğal diyet lifi tüketiminin artması, diyabet, obezite ve kardiyovasküler hastalıkların görülme riskinin azalması ve ayrıca, bağırsak sağlığının korunması bağlamında önem arz etmektedir (Ioniță-Mîndrican vd., 2022).

GYU ilavesi ile glutensiz dondurma külahlarının hem toplam fenolik hem de antioksidan aktivite değerleri GYU içermeyen glutensiz dondurma külahlarına ve aynı zamanda glutenli dondurma külahlarına göre çok daha yüksek bulunmuştur. Son yıllarda tüketicilerin gıda güvenliği ve sağlık üzerinde daha yararlı buldukları için doğal antioksidan içeren gıdalara olan talebi artış göstermiştir. Gıda arzı anlamında da doğal antioksidan içeren gıda üretimi artış göstermiştir. Fenolik maddeler zengin bir antioksidan bileşik kaynağı olarak genel sağlık ve refah üzerinde mükemmel bir olumlu etki sağlarlar. Bununla birlikte fenolik maddeler antimikrobiyal, antioksidan, antidepresan, anti-enflamatuar, antikanser, antilipidemik ve benzeri farmakolojik etkileri ile hastalıklarla mücadele etmek için kullanılan doğal terapötik maddelerdir (Wang vd., 2020).

Elde edilen tüm veriler bir arada değerlendirildiğinde %10 GYU ikamesi ile glutenli dondurma külahlarına benzer teknolojik özellikte ancak daha üstün besinsel özelliklere sahip bir dondurma külahı üretimi gerçekleştirilebilmiştir. GYU ilavesi ile glutensiz dondurma külahlarının fonksiyonel özelliklerinden olan kül, toplam fenolik madde, toplam diyet lif ve antioksidan aktivite değerlerinde çok önemli artış sağlanmıştır. Elde edilen bulgular GYU'nun ticari olarak glutensiz dondurma külahı üretiminde ve bununla birlikte diğer glutensiz ürünlerin besin içeriğinin artırılmasında alternatif bir doğal fonksiyonel gıda katkı maddesi olarak kullanılabilme potansiyeli olduğunu ortaya koymuştur. Böylece çalışmada ele alınan çölyak hastalarının fonksiyonel glutensiz dondurma külahına ulaşabilme konusundaki yaşadıkları soruna çözüm getirilebilmiştir. Ayrıca Isparta gülü'nün glutensiz gıda ürünlerinin üretiminde de kullanılabilmesi belirlenmiştir. Böylece Isparta gülü'nün ekonomik ve kültürel anlamda katma değerinin artmasına katkı sağlanmıştır.

Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışma; TÜBİTAK Bilim İnsanı Destek Programları Başkanlığı tarafından düzenlenen 2024 yılı 55. Lise Öğrencileri Araştırma Projeleri Yarışmasının bölge sergisine davet edilmiş ve sergilenmiş olan 1689b012407522 başvuru no'lu proje kapsamında 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)

- AACC, (2000). American Association of Cereal Chemist, Approved Methods of the AACC, 11th Edition
- Altınok, E., Kurultay, S., Boluk, E., Atik, D. S., Kopuk, B., Gunes, R., ... & Toker, O. S., 2022. Investigation of Using Possibility of Grape Pomace in Wafer Sheet for Wheat Flour Substitution. *International Journal of Food Science & Technology*, 57(6), 3634-3642.
- Bastiawan, H., Santoso, S., Sahab, A.I., Yamin, A., Almira, B., 2022. Analysis of Healthy Living Behavior, Age, and Income on Gluten-Free Food Consumption. *Journal of Consumer Sciences*, 7(1), 51-67.
- Besser, H.A., Khosla, C., 2023. Celiac disease: Mechanisms and Emerging Therapeutics. *Trends in Pharmacological Sciences*. 44(12), 949-962.
- Blicharz-Kania, A., Pecyna, A., Zdybel, B., Andrejko, D., , Marczuk, A., 2023. Sunflower Seed Cake As a Source of Nutrients in Gluten-Free Bread. *Scientific Reports*, 13(1), 10864.

- Boskabady, M. H., Shafei, M. N., Saberi, Z., , Amini, S., 2011. Pharmacological Effects of *Rosa damascena*. Iranian Journal of Basic Medical Sciences, 14(4), 295.
- Demirkesen, I., & Özkaya, B., 2022. Recent Strategies for Tackling the Problems in Gluten-Free Diet and Products. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 62(3), 571-597.
- Dinkova, R., Vardakas, A., Dimitrova, E., Weber, F., Passon, M., Shikov, V., ... ,Mihalev, K., 2022. Valorization of Rose (*Rosa damascena Mill.*) By-product: Polyphenolic Characterization and Potential Food Application. European Food Research and Technology, 248(9), 2351-2358.
- Doğan, I. S., 2006. Factors Affecting Wafer Sheet Quality. International Journal of Food Science & Technology, 41(5), 569-576.
- Dorman, H.J.D., Peltoketo, A., Hiyunen, R., Tikkanen, M.J., 2003. Characterization of Antioxidant Proeperties of De-Odorised Aqueous Extracts from Selected Lamiaceae Herbs. Food Chemistry, 83, 255-262.
- Dorohovych, V., Hrytsevich, M., Isakova, N., 2018. Effect of Gluten-Free Flour on Sensory, Physico-Chemical, Structural and Mechanical Properties of Wafer Batter and Waffles. Ukrainian Food Journal, 7(2), 253-263.
- Gençay, F., Mert, İ. D., 2023. Çölyak Hastalığı ve Glutensiz Ürün Etiketlemesi. Erişim adresi: api.gidamo.org.tr, Erişim tarihi: 08.01.2024
- Gül, H., Hayıt, F., Özer, B., Acun, S., 2021. Kırmızı Pancar Ununun Glutensiz Bisküvi Üretiminde Kullanılması. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(4), 1166-1173.
- Gül, H., Saygılı, N.S., Korkmaz, A.N., Polat, E., Türker, T., Kanat, N., 2019. Beyaz Dut Unu ile Zenginleştirilmiş Glutensiz Dondurma Külâhı Üretimi ve Ürün Kalitesinin Değerlendirilmesi. 1st International Young Researchers Student Congress (2019). (Tam metin bildiri)
- Gül, H., Tekeli, S. G., 2018. Evaluation of Nutritional, Physical, Textural and Sensorial Properties of Gluten Free Cookies Supplemented with Dried *Rosa damascena Mill.* Petals. Scientific Bulletin Series F. Biotechnologies, 22.
- Gül, H., Tekeli, S. G., 2019. Inclusion of *Rosa damascena Mill.* Powder into Cookies: Nutritional, Antioxidant and Quality Characteristics. International Journal of Agriculture Forestry and Life Sciences, 3(2), 301-306.
- Gül, M., 2000. Isparta'da Yağ Güllü Yetiştiriciliğinin Bugünkü Durumu ve Sorunları. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 4(1), 91-102.
- Gül, M., Kazaz, S., Baydar, H., Sirikci, B. S., 2015. A study about technical, economical situation, problems and improvement of oil rose (*Rosa damascena Mill.*) in Turkey. Journal of Essential Oil Bearing Plants, 18(3), 613-626.
- Hayıt, F., Gül H., 2019. Glutensiz Bisküvi Unu Formülasyonunun Yanıt Yüzey Yöntemi Kullanılarak Optimizasyonu. Akademik Gıda, 17(2), 185-192.
- Hnin, K. K., Zhang, M., Wang, B., 2021. Development of Nutritional Properties in Cookies with the Incorporation of Different Levels of Rose Flower Powder by Microwave-Vacuum Drying. Drying Technology, 39(9), 1136-1148.
- Ioniță-Mîndrican, C. B., Ziani, K., Mititelu, M., Oprea, E., Neacșu, S. M., Moroșan, E., ...Negrei, C., 2022. Therapeutic Benefits and Dietary Restrictions Of Fiber Intake: A State Of The Art Review. Nutrients, 14(13), 2641.
- Jnawali, P., Kumar, V., Tanwar, B., 2016. Celiac disease: Overview and Considerations for Development of Gluten-Free Foods. Food Science and Human Wellness, 5(4), 169-176.
- Kaur, S., Kumar, K., Singh, L., Sharanagat, V. S., Nema, P. K., Mishra, V., Bhushan, B., 2022. Gluten-Free Grains: Importance, Processing and Its Effect on Quality of Gluten-Free Products. Critical reviews in food science and nutrition, 1-28.
- Kheirkhahan, P., Ghavami, M., Sharifan, A., 2020. Chemical Composition, Antioxidant Activity and Antimicrobial Effect of *Rosa damascena Mill.* Essential Oil Against *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* and *Salmonella typhi*. Journal of Food Biosciences and Technology, 10(2), 63-74.
- Kostecka, M., Kostecka-Jarecka, J., Howiecka, K., Kostecka, J., 2022. An Evaluation of Nutritional Status and Problems With Dietary Compliance In Polish Patients With Celiac Disease. Nutrients, 14(13), 2581.
- Labban, L., Thallaj, N., 2020. The Medicinal and Pharmacological Properties of *Damascene Rose (Rosa damascena)*: A review. Int. J. Herb. Med, 8, 33-37.
- Mehta, S., Agarwal, A., Pachisia, A. V., Singh, A., Dang, S., Vignesh, D., ... Makharia, G.K., 2024. Impact of Delay in the Diagnosis on the Severity of Celiac Disease. Journal of Gastroenterology and Hepatology, 39(2), 256-263.
- Mert, S., Sahin, S., Sumnu, G., 2015. Development of Gluten-Free Wafer Sheet Formulations. LWT-Food Science and Technology, 63(2), 1121-1127.
- Naderi, B., Nasabi, M., Akbari, M., Zargaraan, A., Amini, M., 2023. Effect of Enzymatic Treatment on Rheological Properties Of Wafer Batter And Textural Properties of Wafer Sheet. Journal of Food Measurement and Characterization, 17(3), 2213-2223.
- Nasabi, M., Naderi, B., Akbari, M., Aktar, T., Kieliszek, M., Amini, M., 2021. Physical, Structural and Sensory Properties of Wafer Batter and Wafer Sheets Influenced By Various Sources Of Grains. LWT, 149, 111826.
- Odabaş, E., Çakmak, H., 2023. Mısır Püskülü Tozu ile Zenginleştirilmiş Glutensiz Erişte Üretimi. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(2), 693-707.
- Oxtenko, A. S., & Rubio-Tapia, A., 2019. Celiac Dsease. In Mayo Clinic Proceedings , 94 (12), 2556-2571.
- Peñalver, R., Martínez-Zamora, L., Lorenzo, J. M., Ros, G., Nieto Martínez, G., 2024. Effect of Hydroxytyrosol, Moringa, and Spirulina on the Physicochemical Properties and Nutritional Characteristics of Gluten-Free Brownies. Food Science & Nutrition, 12(1), 385-398.
- Pourebahim, N., Elhamirad, A., Einafshar, S., Armin, M., 2019. Thin Layer Drying Models, Antioxidative Activity and Phenolic Compounds of Rose Petals (*Rosa damascena Mill.*) in Tray Dryer. International Journal of Biology and Chemistry, 12(2), 141-149.
- Qiu, L., Zhang, M., Ju, R., Wang, Y., Chitrakar, B., Wang, B., 2020. Effect of Different Drying Methods on The Quality Of Restructured Rose Flower (*Rosa Rugosa*) Chips. Drying Technology, 38(12), 1632-1643.
- Qiu, L., Zhang, M., Mujumdar, A. S., Chang, L., 2021. Effect of Edible Rose (*Rosa rugosa cv. Plena*) Flower Extract Addition on the Physicochemical, Rheological, Functional and Sensory Properties of Set-Type Yogurt. Food. Bioscience, 43.
- Saturni, L., Ferretti, G., Bacchetti, T., 2010. The Gluten-Free Diet: Safety and Nutritional Quality. Nutrients, 2(1), 00016-00034.

- Sevim, S., Gümüş, D., Kızıl, M. 2023. Türkiye’de Satışa Sunulan Gluteniz Ürünler ile Gluten İçeren Eşdeğerlerinin Besin Ögesi İçeriği ve Maliyet Yönünden Değerlendirilmesi. *Akademik Gıda*, 21(3), 264-273.
- 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.
- Siresha, M., Mahalakshmi, V.R., 2013. Package of Practices for Freeze Dried Rose Flower. *International Journal of Science and Research*, 5(7), 359-365.
- Stamnaes, J., Sollid, L. M., 2015. Celiac disease: Autoimmunity in Response to Food Antigen. In *Seminars in immunology*, 27(5), 343-352.
- Tang, B., He, Y., Liu, J., Zhang, J., Li, J., Zhou, J., ... Wang, X., 2019. Kinetic Investigation into pH-dependent Color of Anthocyanin and its Sensing Performance. *Dyes and Pigments*, 170, 107643.
- Tarbiat, S., Türütöğlü, A. S., Ekingen, M., 2020. Acetylcholinesterase Inhibitory Potential and Antioxidant Activities of Five Cultivars of *Rosa Damascena* Mill. From Isparta, Turkey. *Current Topics in Nutraceutical Research*, 18(4).
- Tiefenbacher, K. F. 2017. *The Technology of Wafers and Waffles I: Operational Aspects*. Academic Press.
- Trendafilova, A., Staleva, P., Petkova, Z., Ivanova, V., Evstatieva, Y., Nikolova, D., ... Simova, S. (2023). Phytochemical Profile, Antioxidant Potential, Antimicrobial Activity, and Cytotoxicity of Dry Extract from *Rosa damascena* Mill. *Molecules*, 28(22), 7666.
- Wang, Z., Li, S., Ge, S., Lin, S., 2020. Review of Distribution, Extraction Methods, and Health Benefits of Bound Phenolics in Food Plants. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(11), 3330-3343.
- Xu, B., Feng, M., Chitrakar, B., Wei, B., Wang, B., Zhou, C., ... Duan, X., 2022. Selection of Drying Techniques for Pingyin Rose on the Basis of Physicochemical Properties and Volatile Compounds Retention. *Food Chemistry*, 385, 132539.



3D HOLLOW FABRIC PRODUCTION WITH MODIFIED DOBBY SAMPLE WEAVING MACHINE

Elifsu Hazal MORGÜL¹, Güldemet BAŞAL², Sevda ALTAŞ^{3*}, Hüseyin Yavuzer GÜLAS⁴

¹ Ege University, The Graduate School of Natural and Applied Sciences, Izmir, Turkey

² Ege University, Faculty, of Engineering Textile Engineering Department, Izmir, Turkey

³ Ege University, Emel Akın Vocational School, Izmir, Turkey

⁴ Heramer Machine Industry Trade Limited Company, Istanbul, Turkey

Keywords

*Sample Weaving Machine,
3D Woven Fabric,
Tubular Fabric,
Honey Comb Fabric,
Mutli Roller Warp System.*

Abstract

3D fabrics, also known as three-dimensional textiles are fabrics beyond the flat surface typical of traditional fabrics. A variety of methods, such as knitting, weaving and even braiding, are used to manufacture these textiles. This research aims to present a unique sample weaving machine made especially for creating especially 3D hollow fabric. For this aim, in the study a modified sample dobby weaving machine specifically tailored developed for the production of three-dimensional (3D) fabrics. The sample weaving machine incorporates a multi roller warp let off system designed for the production of 3D woven fabrics. This multi-roller warp-let off system facilitates the production of 3D woven fabrics by letting off and rewinding the warp yarns during the weaving process. Subsequently, this sample weaving machine was utilized to fabricate tubular and honeycomb 3D fabric structures. Consequently, 3D composite materials produced using these structures exhibit remarkable strength, lightness, and energy-absorption properties. In future studies, the aim will be to manufacture three-dimensional woven fabric structures with built-in impact protection features, eliminating the need for sewing.

MODİFİYE EDİLEN NUMUNE DOKUMA MAKİNESİ İLE 3B BOŞLUKLU KUMAŞ ÜRETİMİ

Anahtar Kelimeler

*Numune Dokuma Makinesi,
3B Dokuma Kumaş,
Dikdörtgen Boşluklu Kumaş,
Bal Peteği Kumaş,
Çok Leventli Çözümlü Sistemi.*

Öz

Üç boyutlu tekstiller olarak da bilinen 3B kumaşlar, geleneksel kumaşlara özgü düz yüzeylerin ötesindeki kumaşlardır. Bu tekstillerin üretiminde örgü, dokuma ve hatta halat örgü gibi çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu araştırma, özellikle üç boyutlu içi boş kumaşlar üretmek için olmak üzere üç boyutlu (3D) kumaşlar oluşturmak için yapılmış benzersiz bir örnek dokuma makinesi sunmayı amaçlamaktadır. Bu çalışma üç boyutlu (3B) kumaş üretiminde kullanılacak armürlü numune dokuma makinesi geliştirilmesini içermektedir. Makine çoklu çözgü leventine sahip olup, her bir çözgü leventinin hızı birbirinden bağımsız olarak ayarlanabilmektedir. Çoklu levent sistemi, kumaşların üretimi sırasında çözgü ipliklerini salma ve sarma işlemleri ile bazı 3B dokuma kumaşların üretimini gerçekleştirmek mümkün olmaktadır. Bu araştırma makalesinde, modifiye edilmiş dokuma makinesi ile dikdörtgen boşluk ve petek yapıdaki 3B dokuma kumaş yapıları üretilmiştir. Bu iki yapı, gelişmiş 3B tekstil yapılarıdır. Sonuç olarak, 3B kompozit malzemeler güçlü, hafif ve enerji emicidir. İleride yapılacak çalışmalarda darbe koruma özelliği ile dikim gerektirmeyen üç boyutlu dokuma kumaş yapılarının üretimi amaçlanmaktadır.

Alıntı / Cite

Morgül, E., H., Başal, G., Altaş S., Gülas, H.Y., (2024). The Three Dimension Fabric Production Manufacturing with Modified Dobby Sample Weaving Machine, Journal of Engineering Sciences and Design, 12(2), 357-364.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

E. H. Morgül, 0000-0001-7716-4853
G. Başal, 0000-0003-4622-802X
S. Altaş, 0000-0002-2504-8794
H.Y. Gülas, 0000-0002-2504-8794

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	22.03.2023
Revizyon Tarihi / Revision Date	23.02.2024
Kabul Tarihi / Accepted Date	05.03.2024
Yayın Tarihi / Published Date	30.06.2024

* İlgili yazar / Corresponding author: sevda.altas@ege.edu.tr, +90-232-342-2079

3D HOLLOW FABRIC PRODUCTION WITH MODIFIED DOBBY SAMPLE WEAVING MACHINE

Elifsu Hazal MORGÜL¹, Güldemet BAŞAL², Sevda ALTAŞ^{3†}, Hüseyin Yavuzer GÜLAS⁴

¹ Ege University, The Graduate School of Natural and Applied Sciences, İzmir, Turkey

² Ege University, Faculty, of Engineering Textile Engineering Department, İzmir, Turkey

³ Ege University, Emel Akin Vocational School, İzmir, Turkey

⁴ Heramer Machine Industry Trade Limited Company, Istanbul, Turkey

Highlights

- Introduction of a sample dobby weaving machine with the capability to produce complex 3D woven structures.
- Incorporation of multiple warp beams equipped with rewinding capability and two distinct weft insertion systems, namely shuttle and rapier, enhancing versatility and efficiency in fabric production.
- Successful production of two distinct types of hollow fabrics: tubular 3D fabric and honeycomb fabric, utilizing innovative weaving techniques

Purpose and Scope

The purpose of this study is to introduce a specialized sample weaving machine designed specifically to produce 3D fabrics, particularly 3D hollow fabrics. This machine serves the dual function of testing new designs and identifying production issues, particularly when faced with constraints such as limited availability of raw materials.

Design/methodology/approach

A modified sample dobby machine was developed, equipped with multiple warp beams featuring independent let-off and rewind mechanisms. This machine demonstrated versatility by incorporating two distinct weft insertion systems: shuttle and rapier. To assess its effectiveness, two types of hollow fabrics were produced using a multilayer weaving technique. One fabric exhibited flat top and bottom surfaces (tubular 3D fabric), while the other displayed uneven top and bottom surfaces (honeycomb fabric).

Findings

The successful production of two types of hollow fabric structures, namely tubular 3D fabric and honeycomb fabric, was achieved without encountering any challenges. This success can be attributed to the incorporation of multiple warp beams with independent let-off and rewind mechanisms in the modified sample dobby machine.

Research limitations/implications

This study is limited by the production of only two types of 3D hollow structures, namely tubular 3D fabric and honeycomb fabric. Additionally, mechanical testing of the fabricated structures was not conducted. Future studies should aim to explore a broader range of fabric structures and incorporate mechanical testing to provide comprehensive insights into the performance and properties of the produced fabrics.

Practical implications

The development of this modified sample dobby weaving machine holds significant practical implications for the future production of technical fabrics. Its versatility and capability to produce 3D woven fabric structures holds potentials for various studies and projects. Specifically, it could facilitate the development of three-dimensional woven fabric structures integrated with impact protection features, which could revolutionize the manufacturing process by eliminating the need for sewing.

Originality

Conventional weaving machines can make 3D woven fabrics, but setup is labor-intensive. This study presents a sample machine with a multi-roller warp system for 3D fabric production. It's ideal for research, education, and small-scale fabric creation.

[†] Corresponding author: sevda.altas@ege.edu.tr, +90-232-342-2079

1. Introduction

The use of 3D fabrics has grown significantly in recent years since 3D fabrics find novel applications in various industries such as aviation, transportation, constructions and sports. These fabrics are distinguished by their remarkable strength, low density, and lightweight properties, making them highly desirable for technical applications (Tripathi *et al.*, 2020). A defining characteristic of 3D fabrics is their substantial thickness in the Z-direction, in contrast to the two-dimensional structure of conventional fabrics. In other words, unlike flat 2D fabrics, 3D fabrics exhibit noticeable depth and volume (Hearle *et al.*, 2009).

3D fabrics can be manufactured through various techniques including weaving, knitting, braiding, and nonwoven fabrication. Among these methods, 3D woven fabrics stand out as particularly desirable for technical applications (Mountasir *et al.*, 2021) especially in composite applications. These fabrics can be categorized into four main groups: solid, hollow, shell, and nodal. Hollow woven fabrics, also known as spacer fabrics, feature a porous cross-section with empty or void spaces within the structure (Chen *et al.*, 2011). These void spaces create a tubular or hollow structure within the fabric, offering advantages such as improved insulation, energy absorption, lightweight properties, and enhanced breathability. For instance, 3D woven spacer composites, produced utilizing woven spacer or hollow fabrics, demonstrate superior compression and shear characteristics compared to traditional counterparts. They are highly valued in industries such as automotive manufacturing, particularly in the production of electric vehicles, where reduced weight contributes to lower energy consumption and sustainable practices (Tripathi *et al.*, 2020). Additionally, they find applications in construction industry as a light weight construction material (Grossmann *et al.* 2010), and superior thermal insulation material (Unal, 2012).

One commonly employed technique for producing 3D hollow fabrics is the multilayer weaving method (Chen and Wang 2006). This method allows for the creation of hollow fabrics with either flat top and bottom surfaces or uneven top and bottom surfaces. In the case of hollow fabrics with flat surfaces, three or more fabric layers are typically employed. For example, in a three-layer fabric, the middle layer, which acts as a connector between the top and bottom layers, is longer in length compared to the top and bottom layers. The length of this middle layer is determined by various factors such as the fabric thickness and the configuration of the fabric cross-section. Another method for producing hollow fabrics with flat surfaces involves utilizing the face-to-face weaving technique. In case of hollow fabrics with uneven surfaces neighboring layers of fabric are stitched together and then separated at arranged intervals, in accordance with the designated cross-sectional shape (Mancaşi *et al.*, 2021). One example for hollow fabrics with uneven surfaces is honeycomb fabric structure. Chen *et al.* (2008) worked on honeycomb fabrics. They stated that a honeycomb fabric structure consists of the free and bonded cell walls. While a single layer of fabric forms a free cell wall, a bonded cell wall is formed by the combination of two adjacent fabric layers. The cell size can be adjusted by varying the length of the free and bonded cell walls. In other studies by Chen *et al.* (2004) and Chen and Wang (2006), the computerized design and manufacturing of honeycomb fabric structures were investigated. Başal Bayraktar *et al.* (2018) produced a four-layer honeycomb fabric structure using polyester filament yarns and an automatic sample loom. After weaving, they opened cells within the fabric structure using PTFE rods and subsequently transformed the fabric into a composite by saturating it with epoxy resin. They compared this fabric structure with one featuring unopened cells and demonstrated that the hollow structure absorbs more impact energy.

Although there are specialized weaving machines designed specifically for producing 3D woven fabrics, conventional weaving machines, with or without modifications, are often adequate for their production. Several studies have demonstrated successful production of 3D fabrics using conventional weaving machines (Ala *et al.*, 2015, Ala *et al.*, 2016a, Ala *et al.*, 2016b). For instance, Badawi (2007) employed face-to-face weaving on a narrow weaving machine equipped with two warp beams and a specialized take-up mechanism comprising rows of rollers. After fabric production, auxiliary rods were utilized to fill spaces in the sandwich fabric. Similarly, Dash and Behera (2015) created three distinct 3D solid fabric structures using the 2D weaving process, utilizing E-glass fiber on a rapier loom. In this case, an additional warp beam was integrated into the 2D weaving system to facilitate 3D fabric production.

While conventional weaving machines are capable of producing 3D woven fabrics, it's important to note that preparing a weaving machine for fabric production can be a labor-intensive task, requiring substantial time and manual effort. This process involves configuring approximately 200 machine parameters after each fabric change, and extensive weaving trials may be necessary to ascertain the optimal machine setup. To overcome these challenges, this study introduced a sample weaving machine designed specifically for testing new designs and identifying potential production issues with limited raw materials. Subsequently, 3D hollow structures were successfully produced to demonstrate the machine's capability.

2. Material and Method

2.1. Modified Sample Dobby Weaving Machine

This study involves the production of 3D fabric using a modified sample dobby weaving machine. The machine comprises two main parts: machine body, which consists of fabric roller, take up rollers, reed, shedding mechanism, frames, compressor, electrical-electronic control panel, and computer. The machine frame is constructed using ST37 quality sheet metal, with dimensions of 89.6*209*107.5 (cm) and is protected with electrostatic powder paint. It includes 24 heald frames, and the electrical and electronic control elements, along with the compressor, are housed in a removable unit on the right side of the machine. The machine's total size is 89.6*389*145.2 cm². For ease of mobility, the machine is equipped with wheels, and self-vacuum feet are used to prevent machine vibration during weaving.

Various methods can be employed to transform two-dimensional fabrics into three-dimensional ones, but these materials tend to be less resistant to mechanical forces when compared to directly woven three-dimensional fabrics. In applications where the composite structure experiences out-of-plane loading, 3D woven fabrics prove especially advantageous due to the added strength imparted by the z-thread in the thickness-length dimension, resulting in better tolerance to delamination, which is the separation of layers caused by out-of-plane forces. The weaving machine, designed for this purpose, employs a pneumatic system consisting of pneumatic pen pistons, electro pneumatic valves, and connecting components in the shedding mechanism required for weft insertion. Each frame is equipped with one of the 24 (16 mm-diameter) pneumatic pen pistons for up and down motions. The motion of the pneumatic pen pistons is controlled by transmitting pattern-specific commands from a computer to the electric-electronic control card and transferring compressed air from a compressor to the electro-pneumatic valves under the control of the electric-electronic control card, in accordance with the pattern. The electronic control of the weaving machine is managed through an electronic control card and a tablet computer. The fabric take up system is comprised of two stepper motor-controlled take-up rollers and one fabric roller, with the rollers coated in polyurethane to prevent static electricity. The front view of the sample weaving machine is given in Figure 1.



Figure 1. Front view of the sample dobby weaving machine

The weaving machine's warp let off system comprises one warp beam and two warp let off rollers operating under the precise control of a stepper motor, with set values entered on the machine's screen. The warp beams are made from high quality, completely dry beech wood, featuring protective covers on their upper portions to shield against external elements. The warp let off rollers are coated with a 1.5 cm thick, 62-hardness polyurethane and are capable of both forward and backward movements. These coated rollers are equipped with clamping systems at their tops to secure the warp threads between them, and in total, there are eight warp rollers. To ensure uniform tension for each bundle of warp threads coming from these eight rollers, a warp tension is controlled via warp let off rollers. Additionally, materials that prevent static electricity are carefully selected based on the specific characteristics of the warp threads used, with wood chosen for warp beam, polyurethane for warp let off and polyethylene for the bedding of the warp let off rollers. Importantly, none of the warp yarns coming from these eight different warp beams come into contact with each other until they reach the harness frames. Figure 2 shows both front and side views of the warp let off system.

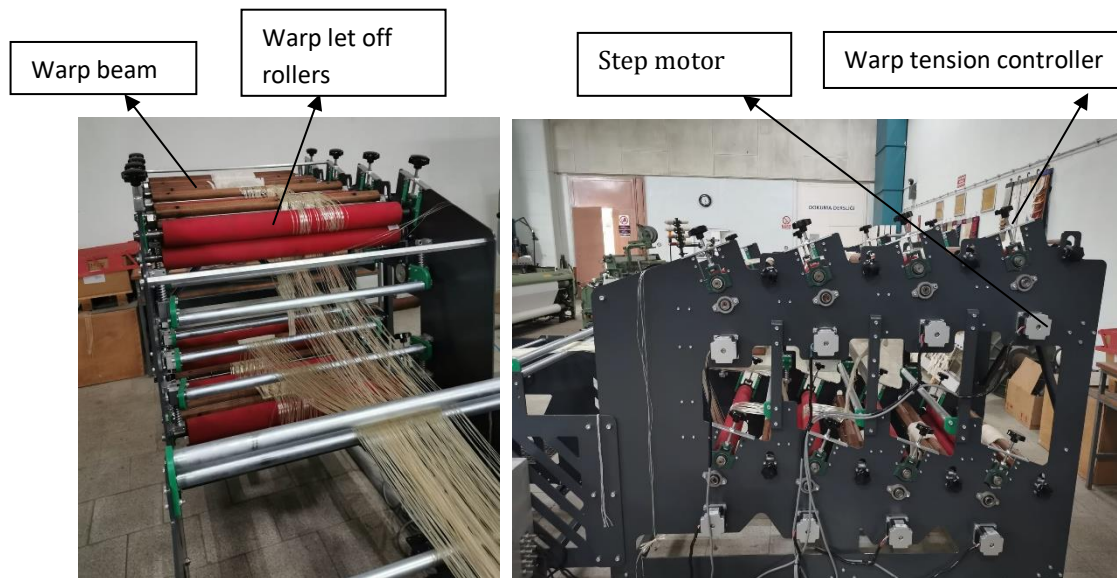


Figure 2. Front and side views of the warp let off system

2.2 Three Dimensional (3D) Woven Fabric Production

The multi-layer fabric structures, which can be called as simple 3D fabrics can be produced with an ordinary weaving machines. However, in this study we aimed to develop a sample weaving machine that allows the production of many different types of 3D shaped fabric structures. For this purpose, in the design of the machine, a special warp let off system is used. With this system, it is possible to control the warp tensions during the weaving process. The developed machine could be not only used to produce 3D fabrics preforms to be used in composite production, but also to it is possible to produce fabric samples for different textile designs for the fashion industry. In the study, the modified weaving machine was used to produce; tubular and honeycomb 3D fabric structures.

The machine's design encompasses all essential components, including 8 warp beams, 8 flexible warp let off mechanisms for adjusting weft density, fabric take up mechanism, dobby cabinet (comprising electronic control cards, modules, and pattern driver), and a touch electronic board monitor for controlling warp let off and fabric take up systems. The machine is dimensioned to operate effectively within limited space, measuring 135*280*300 cm. The shedding system facilitates the opening of the shed by executing commands received from the dobby mechanism. Both rapier and shuttle weft insertion mechanisms are integrated into the machine's weft insertion system. Warp let off and rewinding, and fabric take up mechanisms are controlled through electronic PLC and a touch monitor. The weft density can be adjusted and monitored via the touch screen. The machine is compatible with pattern design programs commonly used in the industry.

Warp let off is executed in alignment with the weaving design's warp report. After positioning the warp rollers according to the warp report, the warp let off process begins, followed by warp binding. The pre-established peg plan is displayed on the monitor, and a command is transmitted to the machine via an electronic pedal, initiating the shedding process. Weft insertion is manually performed using the shuttle through the shed, followed by beating up to carry the weft yarn into the fabric to ensure desired weft density. The motor-driven fabric take up roller is synchronized with the weft density, which is adjustable from the monitor. Simultaneously, the warp let off rollers maintain warp alignment at the specified distance. This process continues until the weaving is completed.

Two different type hollow fabric structures were produced utilizing this sample weaving machine in order to reveal its capabilities. The first one was a hollow fabric with flat top and bottom surfaces. This hollow or tubular fabric consists of four layers, with adjacent layers periodically combined and separated. The top view and cross-sectional pattern of the weave illustrate vertical lines representing warp yarns and horizontal lines representing wefts. The technical drawing and pattern report of the cross-sectional view of the 3D hollow fabric are presented in Figure 3 (Turgut, (2020)). The cross-sectional view of the tubular 3D fabric was shown in Figure 4.

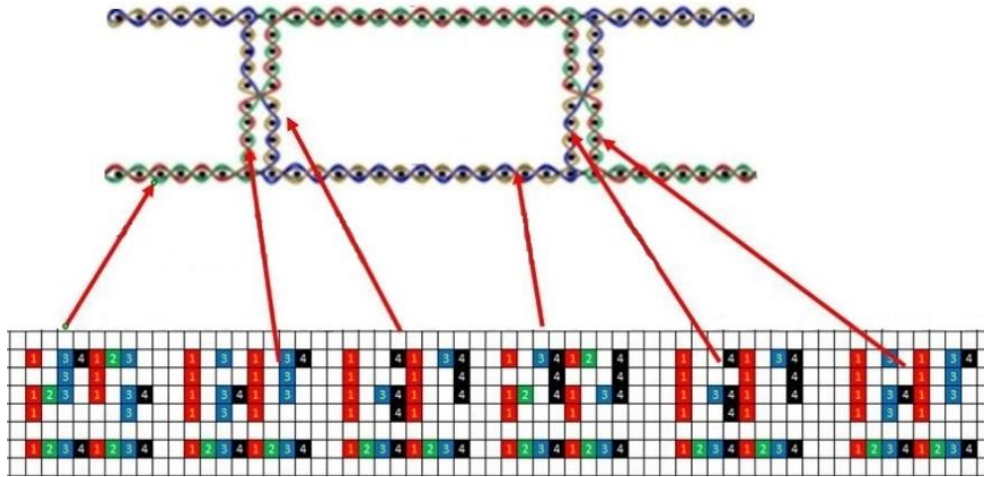


Figure 3. Cross-sectional view and the peg plan of the tubular 3D fabric



Figure 4. Tubular 3D fabric

Another 3D fabric structure produced with the developed sample weaving machine is the honeycomb structure. Three-dimensional honeycomb structures mimic the geometry of natural honeycomb structures to achieve minimal weight and maximum strength by minimizing material usage during production. Composites reinforced with honeycomb structures exhibit lightweight properties, excellent impact absorption, and high strength (Başal et al., 2018). The presence of open spaces between layers results in a 3D structure with honeycomb-shaped cells in the cross-section, featuring non-flat top and bottom surfaces. The technical drawing and pattern report of the cross-sectional view of the honeycomb 3D fabric is provided in Figure 5, while Figure 6 shows honeycomb hollow fabric in its original form and composite form.



(a)

(b)

Figure 5. Honeycomb fabric; a) Original form b) Composite form

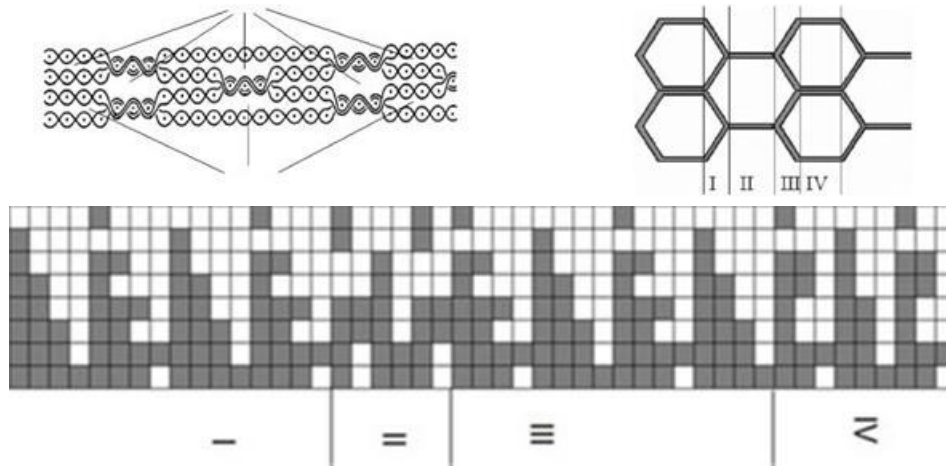


Figure 6. Cross-sectional view of honeycomb fabric and the peg plan

3. Result and Discussion

This study introduced a sample woven fabric machine with a multi-roller warp system, which was utilized for the production of three-dimensional woven fabrics. The developed sample-weaving machine holds potential for application in research and development activities within textile enterprises, educational institutions offering textile programs, research centres and composite material manufacturers. This machine, capable of producing fabrics in small sizes for research purposes. It features a multi-roller warp let off system, which offers a great potential to produce specific type 3D woven fabrics by letting off and rewinding warp yarns during the weaving process which is not possible with conventional weaving machines. The inclusion of both rapier and shuttle weft insertion mechanisms in this shuttle system facilitates the continuous release of the weft yarns from the shuttle bobbin, ensuring a smooth fabric edge. Additionally, by eliminating the need for cutting, this system addresses the cutting challenges associated with high strength technical yarns. The machine requires minimum space and allows for the creation of simple, medium, and complex weaving patterns with reduced time consumption and simplify process requirements. In addition, the low production cost of this machine, compared to similar sample weaving machines produced abroad, eliminates the high costs associated with machine spare parts and long lead times for overseas procurement.

Following the development of the sample weaving machine, its capability for 3D fabric production was verified by creating two distinct hollow fabric structures: tubular 3D fabric and honeycomb fabric. The results demonstrated that the developed machine successfully produced these structures without encountering any difficulties.

In conclusion, this sample weaving machine is expected to support various studies for producing technical fabrics in the future, potentially leading to new projects, including the development of three-dimensional woven fabric structures with impact protection features that eliminate the need for sewing.

Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

Acknowledgement

The study is supported by Ege University Office of Scientific Research Projects No: FBG-2019-21377 and the production of the machine is carried out with Heramer Machine Company.

References

- Ala, D. M, Çelik, N. (2015). Bilgisayar destekli yarı-otomatik tasarlanmış ve geliştirilmiş yerli bir numune dokuma makinesi, *Tekstil ve Mühendis*, 22(98): 17-23s.
- Ala, D. M, Çelik, N. (2016a). Bilgisayar destekli yarı-otomatik bir numune dokuma tezgahının kumaş üretim yeteneğinin incelenmesi, *Tekstil ve Mühendis*, 23(101): 12-21s.
- Ala, D. M, Çelik, N. (2016b). Bir numune dokuma tezgahı için tasarlanmış alternatif ağızlık açma mekanizmaları, *Tekstil ve Mühendis*, 23(108): 182-188s.
- Badawi, S.S. (2007). Development of the Weaving Machine and 3D Woven Spacer Fabric Structures for Lightweight Composites Materials PhD Thesis, Technical University of Dresden, Dresden, Germany.
- Başal Bayraktar, G., Kianoosh, A. and Bilen, D. (2018). Fabrication of woven honeycomb structures for advanced composites,

- Textile & Leather Review*, Vol: 1(3-4), 114-119.
- Chen X, Ma, Y., Zhang H. (2004). CAD/CAM for cellular woven structures. *J Text Inst*; 95: 229-241.
- Chen, X., Taylor, L., W. and Tsai, L. (2011). An overview on fabrication of three-dimensional woven textile preforms for composites, *Textile Research Journal*, Vol: 81(9), 932-944.
- Chen X, Sun Y, Gong X. (2008). Design, manufacture, and experimental analysis of 3D honeycomb textile composites, part I: design and manufacture, *Textile Research Journal*, Sep;78(9), 771-781.
- Chen X, Sun Y and Gong X. (2008). Design, manufacture, and experimental analysis of 3D honeycomb textile composites, part II: experimental analysis, *Textile Research Journal*, Nov;78(11), 1011-1021.
- Chen, X., Wang, H. (2006). Modelling and computer-aided design of 3D hollow woven reinforcement for composites, *The Journal of The Textile Institute*, Volume 97, Issue 1, 79-87.
- Dash and Behera (2015). Mechanical behavior of 3D woven composites, *Materials & Design*, Vol. 67, Pages 261-271
- Grossmann, K., Mühl, A., Löser, M., Cherif, C., Hoffmann, G. and Torun, A.R. (2010). New Solutions for the Manufacturing of Spacer Preforms for Thermoplastic Textile-Reinforced Lightweight Structures, *Production Engineering Research and Development*, Vol: 4 (6), 589-597.
- Hearle, J., Chen, X. (2009). 3D Woven Preforms and Properties for Textile, North Campus Incubator, Sackville Street, Manchester, UK
- Mancaşi, N., V., Maxineasa, S., G., Loghin, C., Isopescu, N. and D., Cristian, I. (2021). Hollow 3D-Woven Fabric Filled with Textile Waste for Thermal Insulation of Buildings, *International Symposium Technical Textiles - Present and Future Proceedings Book*.
- Mountasir, A., Hoffmann, G. and Cherif, C. (2011). Development of Weaving Technology for Manufacturing Three-Dimensional Spacer Fabrics with High-Performance Yarns for Thermoplastic Composite Applications: An Analysis of Two-Dimensional Mechanical Properties, *Textile Research Journal*, Vol: 81(13), 1354-1366.
- Tripathi, L., Chowdhury, S. and Behera, B. K. (2020). Modelling and simulation of compression behaviour of 3D woven hollow composite structures using FEM analysis. *Textile & Leather Review*, 3(1), 6-18.
- Turgut, F., Koycu, A., Cebeci, H., Neje, G., Behera, B., K., Yenigün, E., O., (2020). Hierarchical CNTs Grown Multifunctional 3D Woven Composite Beams for Aerospace Applications, *AIAA Scitech 2020 Forum*, 6-10 January, Orlando, FL
- Unal, P. G. (2012). 3D woven fabrics. In *Woven fabrics*. IntechOpen.



BOR KATKILI GRAFEN OKSİT ÇÖZELTİLERİN EL ALETLERİNİN STERİLİZASYONUNDA ANTİBAKTERİYEL ETKİSİ

Ayça DALBEYLER¹, Banu ESENCAN TÜRKASLAN^{1*}

¹ Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Bor Oksit, Borik Asit, Grafen Oksit, Sterilizasyon, Modifiye Geliştirilmiş Hummers.</i>	<p>Tıp ve diş hekimliğinde hem hasta hem sağlık personeli açısından sterilizasyon işlemi hayati derecede önem taşımaktadır. Özellikle cerrahi müdahalelerde kullanılmakta olan aletler üzerinde cerrahi müdahale sonucunda birtakım mikroorganizmalar yer alır. Tıbbi ekipman uygun şekilde dezenfekte veya sterilize edilmediğinde, konak bariyerlerinin ihlali nedeniyle enfeksiyon riskini artırmaktadır. Bu çalışmada dental el aletlerinin temizlenmesinde kullanılmak üzere bor katkılı grafen oksit (BGO) sterilizasyon ön işlem çözümü üretilmiştir. Bor kaynağı olarak bor oksit (B_2O_3) ve borik asit (H_3BO_3) kullanıldı. Grafen oksit (GO) Modifiye Geliştirilmiş Hummers Metodu ile sodyum nitrat ($NaNO_3$) kullanılmadan sentezlendi. BGO kompozitlerinin karakterizasyonu XRD, SEM/EDS ve FTIR analizleri kullanılarak yapıldı. Yapılan analizler sonucunda elde edilen SEM görüntüleri, XRD analizinde GO, H_3BO_3 ve B_2O_3'e ait karakteristik piklerin varlığı ve FTIR analizinde H_3BO_3/GO (GBA) ve B_2O_3/GO (GBO) yapılarında B-C ve B-O bağlarının görülmesi GO yapısında bor varlığını doğrulamıştır. BGO çözümü antibakteriyel etkinliği agar kuyucuk difüzyon yöntemi ile Gram pozitif (<i>Staphylococcus aureus</i>) ve Gram negatif (<i>Escherichia coli</i>) bakteriler için ölçülmüştür. Belirlenen konsantrasyonda kullanılan muadil çözümü, GBA ve GBO çözeltilerinin antibakteriyel etki göstermediği gözlemlenmiştir. GBA ve GBO sterilizasyon ön işlem çözeltilerinin temizlik veriminin de muadil ürünle benzer olması ham madde açısından sürdürülebilir ve çevre dostu çözeltilerin sterilizasyon ön işleminde alternatif olabileceğini göstermiştir.</p>

ANTIBACTERIAL EFFECT OF BORON-DOPPED GRAPHENE OXIDE SOLUTIONS ON STERILIZATION OF HAND TOOLS

Keywords	Abstract
<i>Boron Oxide, Boric Acid, Graphene Oxide, Sterilization, Modified Hummers.</i>	<p><i>Improved</i> In medicine and dentistry, sterilization is mandatory for the benefit for both patients and healthcare personnel. Especially on instruments used in surgical interventions, some microorganisms take place as a result of surgical intervention. When medical equipment is not properly disinfected or sterilized, it increases the risk of infection due to breach of host barriers. In this study, boron doped graphene oxide (BGO) sterilization pre-treatment solution was produced in order to clean dental hand instrument. Boron oxide (B_2O_3) and boric acid (H_3BO_3) and will be used as a boron source. Graphene oxide (GO) was synthesized by the Modified Improved Hummers method without using sodium nitrate ($NaNO_3$). BGO composites was characterized using XRD, SEM/EDS, and FTIR analyses. The SEM images obtained as a result of the analyzes, the presence of characteristic peaks of GO, H_3BO_3 and B_2O_3 in the XRD analysis, and the presence of B-C and B-O bonds in the H_3BO_3/GO (GBA) and B_2O_3/GO (GBO) structures in the FTIR analysis confirmed the presence of boron in the GO structure. The antibacterial activity of BGO solution was measured for Gram-positive (<i>Staphylococcus aureus</i>) and Gram-negative (<i>Escherichia coli</i>) bacteria by the agar well diffusion method. It has been observed that the equivalent solutions used in the industry, GBA and GBO solutions, do not have an antibacterial effect at the determined concentration. The cleaning efficiency of GBA and GBO sterilization pre-treatment solutions is similar to the equivalent product, and it has been observed that sustainable and environmentally friendly solutions in terms of raw materials can be an alternative in sterilization pre-treatment.</p>

Alıntı / Cite

Dalbeyler, A., Esencan Türkaslan, B., (2024). Bor Katkılı Grafen Oksit Çözeltilerin El Aletlerinin Sterilizasyonunda Antibakteriyel Etkisi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 12(2), 365-376.

* İlgili yazar / Corresponding author: banuturkaslan@sdu.edu.tr, +90-246-211-1389

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process	
A. Dalbeyler, 0000-0003-2190-9507	Başvuru Tarihi / Submission Date	27.04.2023
B. Esencan Türkaslan, 0000-0003-3948-6207	Revizyon Tarihi / Revision Date	21.05.2024
	Kabul Tarihi / Accepted Date	22.05.2024
	Yayın Tarihi / Published Date	30.06.2024

THE EFFECT OF BORON COMPOUNDS ON ANTIBACTERIAL ACTIVITY

Ayça DALBEYLER^{1†}, Banu ESENCAN TÜRKASLAN¹

¹ Suleyman Demirel University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Isparta, Türkiye

Highlights

- Cleaning process is a mandatory step before disinfection or sterilization process.
- Pre-treatment solution for dental hand instruments based on boron doped graphene oxide have been obtained.
- Solution formed by using a natural mineral boric acid and bor oxide may reduce abrasion of dental hand instruments.

Graphical Abstract

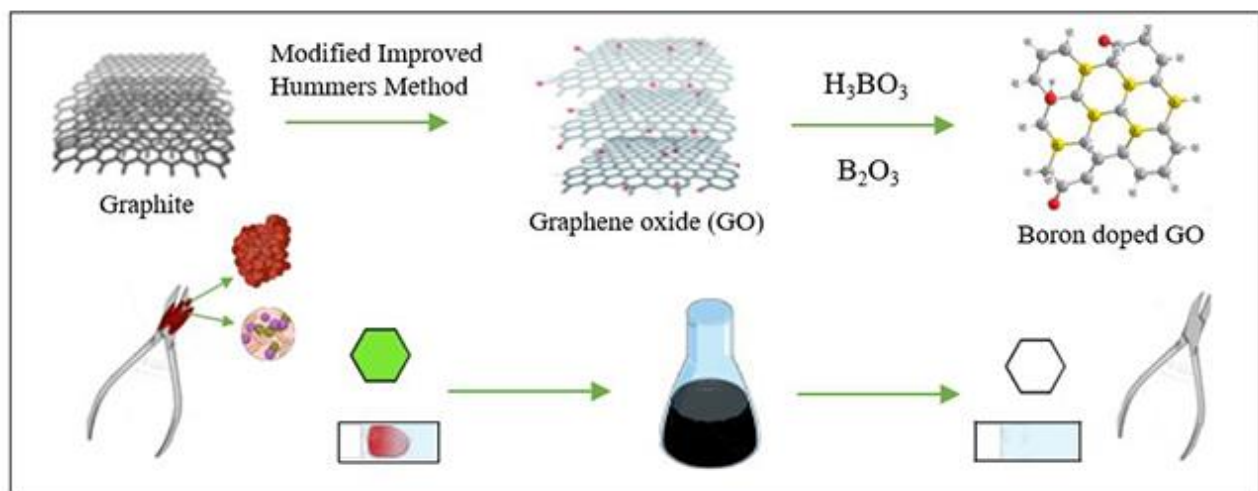


Figure. Modifiye Geliştirilmiş Hummers Yöntemiyle GO Üretim Akışı (Production flow of GO using Modified Improved Hummers method)

Purpose and Scope

Today, chemical-containing cleaning solutions used in washing machines in the dental sterilization unit, composite fillers and bonding cements that have dried on metal hand tools cannot be removed from stainless steel dental hand tools. Before sterilization, additional mechanical cleaning is performed on the stainless steel hand tools. The purpose of this study is to synthesize boron-doped GO (BGO) sterilization pre-treatment solution to be used in the pre-sterilization cleaning step of dental hand instruments.

Design/methodology/approach

Doping of the hexagonal structure of carbon atoms in graphene oxide was achieved by boron atoms on to the carbon atoms and bonding them covalently. The dental hand instrument cleaned with BGO solution was compared with the equivalent solution used in dentistry. The effectiveness of the synthesized sterilization pretreatment solution was determined using washing efficiency control indicators in accordance with TS EN ISO 15883-1 standard.

"The doping of the hexagonal structure of the carbon atoms in the GO ring was achieved by covalently bonding boron atoms onto the carbon atoms."

[†] Corresponding author: banuturkaslan@sdu.edu.tr, +90-246-211-1389

Findings

While the washing efficiency of boron solutions was similar at low temperatures, it was observed by the color transformation on the indicator papers that the washing efficiency increased as the temperature was increased.

Research limitations/implications (if applicable)

It was concluded that different boron concentration should be studied in order to improve the antibacterial effect.

Originality

Boric acid and boron oxide, known as antiseptic and anti-infective, have been used in the sterilization of dental hand instrument, which has never been studied before.

1. Giriş (Introduction)

Sağlık alanında kullanılan el aletleri ve ekipmanları taşıdıkları biyo-yükleri sebebi ile hem sağlık personeli hem de çevre için enfeksiyon kaynağıdır. Enfeksiyonlardan korunabilmek için tüm araç ve gereçler temizlenmeli ve sterilize edilmelidir. El aletlerindeki kir, doku artıkları, yabancı madde ve partiküllerin uzaklaştırılma işlemi olan temizlik, sterilizasyon döngüsünün ilk ve en önemli adımudur (Samastı vd., 2008; WHO ve PAN, 2016). Sterilizasyon, mikroorganizmaların miktarı, türü, doğal direnci ve yapısal özellikleri (biyofilm gibi), kullanılan sterilizasyonun gücü, temas süresi, yoğunluğu, çevresel özellikler (sıcaklık, pH, organik-inorganik) gibi birçok faktörden etkilenir. Temizleme ve sterilizasyon için mevcut ticari kimyasal alternatifler klor ve amonyak içermektedir. Aletlerin temizliği sırasında ısı ortamından dolayı ön sterilizasyon solüsyonları buharlaşmaktadır. Petrol türevlerinden meydana gelen temizlik maddelerinin solunması halinde tehlikeli etkiler meydana gelebilmektedir. Temizlik ve sterilizasyon için kullanılan maddeler, aletlerle uyumlu, istenen seviyede etkinlik gösteren, kolay durulanabilir, çevre için güvenli ve ekonomik olmalıdır (Erbil, 2005; Vries, 2014).

Antiseptik ve anti-enfektif olarak bilinen borik asit (H_3BO_3 veya $B(OH)_3$) (Eseceli vd., 2018); optik durulama (Lehmann vd., 2010), gargara (Sağlam vd., 2013), sterilizasyon işlemleri (Zer vd., 2020), antibakteriyel ajanlar (Zan vd., 2013) ve pomatlar (Demirci vd., 2015) olarak enfeksiyonlarda da kullanılmaktadır. Susuz borik asit olarak da bilinen bor oksit ise (B_2O_3), bor yüzdesi en fazla olan borun temel oksididir (Çakmak ve Özcan, 2022). Ürünün kalitesini etkileyen su buharı çıkmaması nedeniyle, birçok özel bor kimyasalının üretiminde borik asit yerine kullanılmaktadır (Yılmaz, 2009).

Son yıllarda yapılan çalışmalar incelendiğinde borik asidin *Listeria (L.) monocytogenes* ve *Staphylococcus (S.) aureus*'a karşı antibakteriyel etkinliğe sahip olduğu gözlenmiştir (Ilhan vd., 2019). Yapılan çalışmalar geliştirilerek yara tedavisinde kullanılan gümüş nitrattı süngerlerin yerine borik asit kullanarak yaraların tedavi sürelerinde kısaltmalar tespit edilmiştir (Kapukaya ve Kulahci, 2020). 2021 yılında yapılan başka bir çalışmada ise kolon kanseri hücrelerinin temizlenmesinde farklı konsantrasyonlarda bor oksit kullanarak, bor oksitin kanser hücrelerine etki ederek sağlıklı dokulara daha az zarar verdiğini ortaya koymaktadır (Albuz vd., 2019).

GO, sp² ve sp³ hibritleşmesi yapabilen karbonları ve çok sayıda oksijen içeren fonksiyonel grupları içeren 2 boyutlu (2D) grafenin oksitlenmiş türevidir. GO sahip olduğu hidroksil, epoksi ve karboksil gibi fonksiyonel gruplar sonucunda sulu çözeltilerde yüksek çözünürlüğe sahiptir (Ray, 2015). GO tabakaları bazal düzlemde nispeten hidrofobik, kenar bölgelerinin hidrofilik olduğu uçtan merkeze doğru dağılan amfifilik bir yapıya sahiptir. Amfifilik yapısı arayüzeyler arasında enerjiyi azaltarak yüzey aktif madde gibi davranmasını sağlar (Shao vd., 2014). GO, ilaç ve gen dağıtımı (Lu vd., 2012; Nanda vd., 2015), antibakteriyel (Dimiev ve Eigler, 2017; Sun vd., 2020), biyogörüntüleme (Lee vd., 2016) kanser tedavisi (Goenka vd., 2014) ve X-ray kalkanlama (Turkaslan vd., 2022) gibi birçok farklı alanda kullanılmaktadır (Agnoli ve Favaro 2016).

Bu çalışmada, dental el aletlerinin sterilizasyon öncesi temizleme adımında kullanmak için bor katkılı GO (BGO) sterilizasyon ön işlem solüsyonu sentezlenmiştir. H_3BO_3 'ün sağlık alanında çok farklı araştırmalarda yer almasına rağmen temizleme veriminin dental el aleti üzerindeki etkileri henüz araştırılmamıştır. B_2O_3 ile yapılan çalışmalar son yıllarda ivme kazanmakla beraber benzer bir çalışma literatürde bulunmamaktadır.

GO, Modifiye Geliştirilmiş Hummers yöntemiyle sentezlenmiştir. GO, grafitin H_2SO_4 ile işlendiği $NaNO_3$ ve ekstra HNO_3 kullanılmadan daha uzun süreli mekanik karıştırmaya dayalı bir süreci kapsayan grubumuz tarafından geliştirilmiş Modifiye Geliştirilmiş Hummers yöntemi ile sentezlenmiştir. Bor kaynağı olarak H_3BO_3 ve B_2O_3 kullanılmıştır. GO halkasında ki karbon atomlarının altıgen yapısının katılanması, karbon atomları üzerine bor atomlarının kovalent olarak bağlanmasıyla gerçekleştirilmiştir (Rani ve Jindal, 2013).

Sentezlenen sterilizasyon ön işlem solüsyonunun etkinliği, TS EN ISO 15883-1 standardına (Renders vd., 2019) uygun olarak yıkama etkinlik kontrol indikatörleri ile muamele edilerek gerçekleştirilmiştir. Bu indikatörler cerrahi aletleri temsil eden metal veya plastik bir taşıyıcı aparat üzerine yerleştirilmiş taklit kirleri içermektedir. Buna ilaveten yıkama etkinlik kontrol indikatörleri ile muamele edilen, diş hekimliğinde kullanılan muadili solüsyon ile aynı prosedürde kademeli olarak arttırılan farklı sıcaklık değerlerinde (55°C, 70°C ve 90°C) karşılaştırılmıştır. GBA ve GBO ve sterilizasyon ön işlem solüsyonunun sektörde kullanılan muadil ürünle optimize edilen konsantrasyonlarda antibakteriyel aktivitesinin karşılaştırılması *laboratuvar ortamında* agar kuyucuk difüzyon yöntemi kullanılarak yapılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

2.1. GO Sentezi (Synthesis of GO)

GO, Modifiye Geliştirilmiş Hummers Metodu kullanılarak sentezlenmiştir. Sentez için Grafit flake (≥ 75 %min), Sülfürik asit (H_2SO_4 , %98), Potasyum permanganat ($KMnO_4$, %99), Hidrojen peroksit (H_2O_2 , %30), Hidroklorik asit (HCl , %37) Sigma Aldrich firmasından temin edilmiştir.

Buz banyosunda bulunan 50 ml H_2SO_4 içerisine önce grafit (2 g) ardından $KMnO_4$ (6 g) kademeli olarak eklenerek karıştırılmıştır. Daha sonra karışıma 300 mL deiyonize su ilave edilmiş ve karıştırmaya devam edilmiştir. Yükseltgenmeyi işlemi durdurmak ve yapıdaki safsızlıkları uzaklaştırmak için sırasıyla 2 ml H_2O_2 ve HCl ilave edilerek süzölmüştür. Sentezlenen grafit oksitten 1 g alınarak 350 mL saf su içerisinde dispers edildikten sonra sırasıyla 2 saat sonike edilip santrifüjlenerek GO elde edilmiştir.

2.2. BGO Sterilizasyon Ön İşlem Solüsyonunun Hazırlanması (Preparation of BGO Pre-Sterilization Solution)

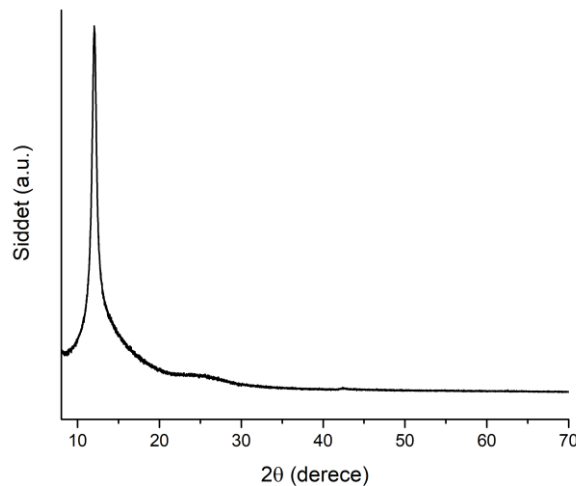
BGO, sterilizasyon ön işlem solüsyonunun hazırlanması işleminde H_3BO_3 (Eti Maden, $\geq 99.5\%$) ve B_2O_3 (Eti Maden, $\geq 98.0\%$) bor kaynağı olarak kullanılmıştır.

GO'ya bor atomu katkılanmasında H_3BO_3 ve B_2O_3 kullanılarak iki farklı sterilizasyon ön işlem solüsyonu sentezlenmiştir. GBA ve GBO çözeltilerinin her biri için GO'nun 100 mL (%1 w/v) çözeltisi hazırlanarak oda sıcaklığında manyetik karıştırıcıda karıştırılmıştır. Hazırlanan GO çözeltisi içerisine H_3BO_3 ve B_2O_3 optimize edilen derişimde (%2 w/v) ilave edilerek iki farklı solüsyon önce manyetik karıştırıcı ardından ultrasonik banyoda sonike edilmiştir.

3. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

3.1. GO'nun Karakterizasyonu (Characterization of GO)

GO yapısına ait XRD spektrumu incelendiğinde GO için $2\theta=12^\circ$ değerinde GO'nun karakteristik zirvesi gözlenmektedir (Şekil 1) (Truong vd., 2020).



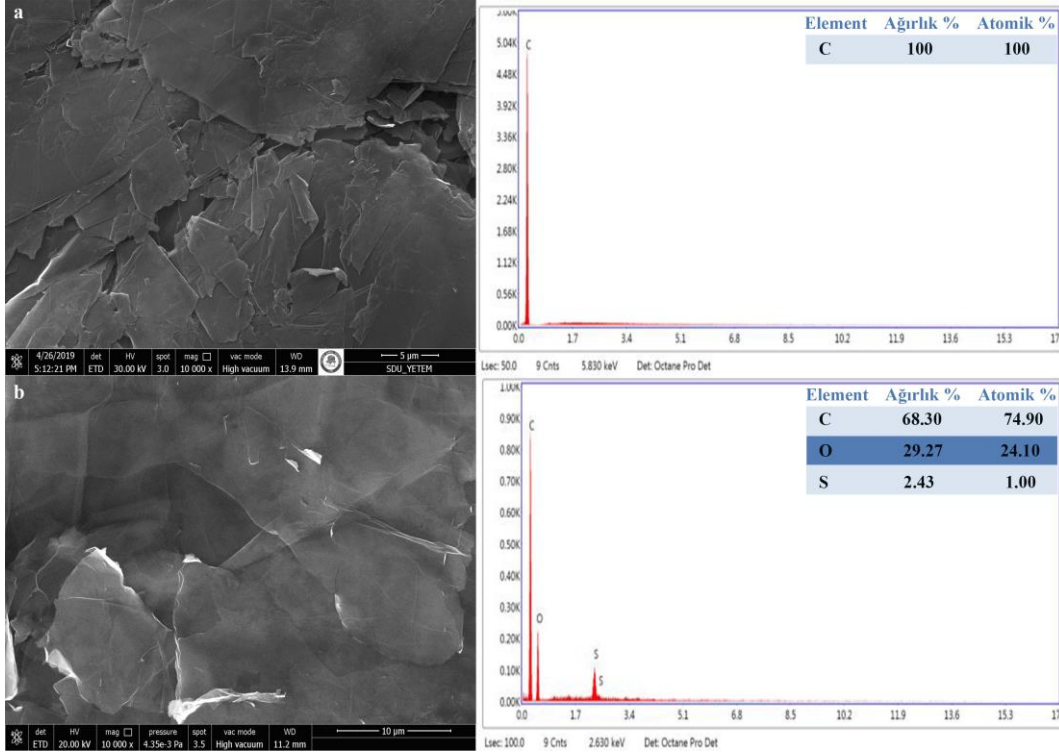
Şekil 1. GO'nun XRD Spektrumu (XRD Spectrum of GO)

Saf grafitle karşılaştırıldığında katmanlar arasında fonksiyonel grupların yerleşmesi sonucu tabakalar arası mesafe 0,81 nm olarak artmıştır (Tablo 1).

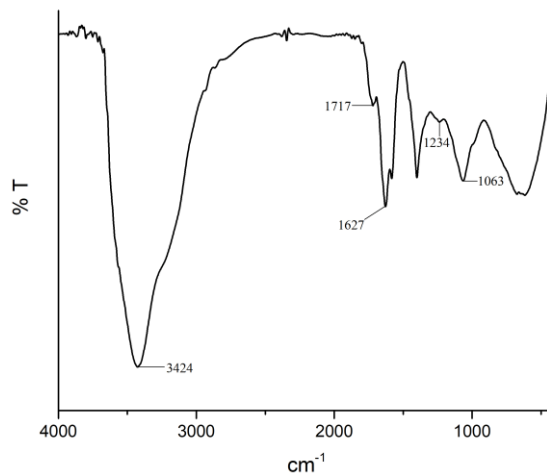
Tablo 1. Grafit ve GO'nun pik analizi (Peak assignment of graphite and GO)

Materyal	2 (θ)	d (nm)	Katman Sayısı
Grafit	26,02	0,34	47
GO	12,01	0,82	14

Şekil 2'deki SEM görüntülerinde GO yapısının dalgalı görümlü ve tabakalı bir formda olduğu saptanmıştır. EDS analizlerinde görüldüğü gibi, katmanlı GO morfolojisini oluşturan grafitin oksidasyonu sonucu katmanlar arasında fonksiyonel gruplar eklenmiştir.



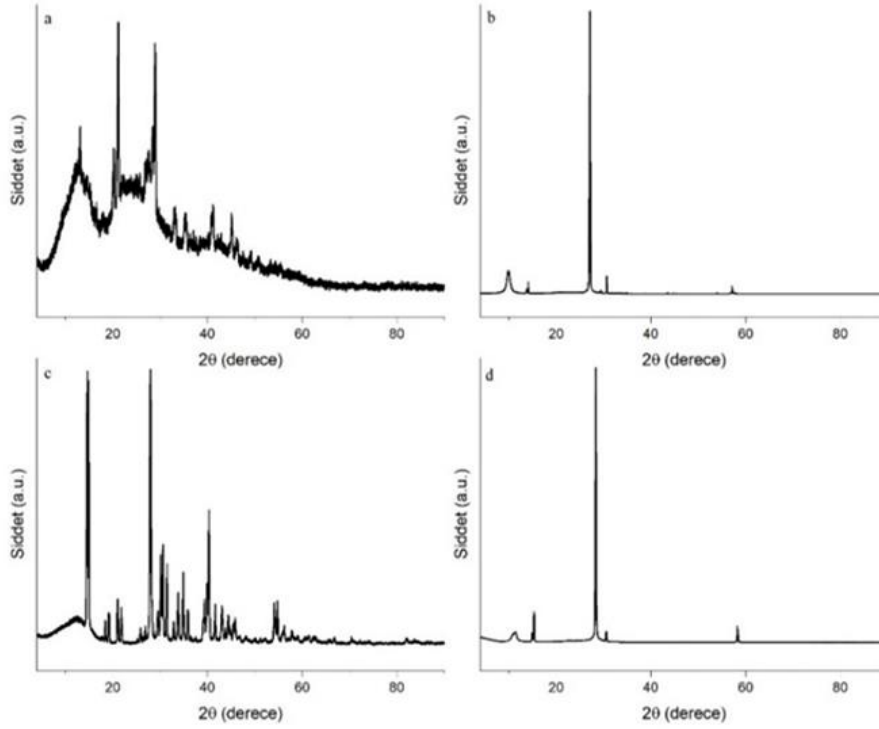
Şekil 3'te GO yapısına ait bağ yapıları ve fonksiyonel grupları gösteren FTIR spektrumu incelendiğinde GO'nun 3424 cm^{-1} 'de -OH, 1717 cm^{-1} 'de C=O, 1627 cm^{-1} 'de C=C, 1234 cm^{-1} 'de C-O ve 1063 cm^{-1} 'de C-O titreşimlerine ait olduğu görülmektedir.



Şekil 3: GO'nun FTIR spektrumu (FTIR Spectrum of GO)

3.2. Solüsyonların Karakterizasyon Sonuçları (Characterization Results of Solutions)

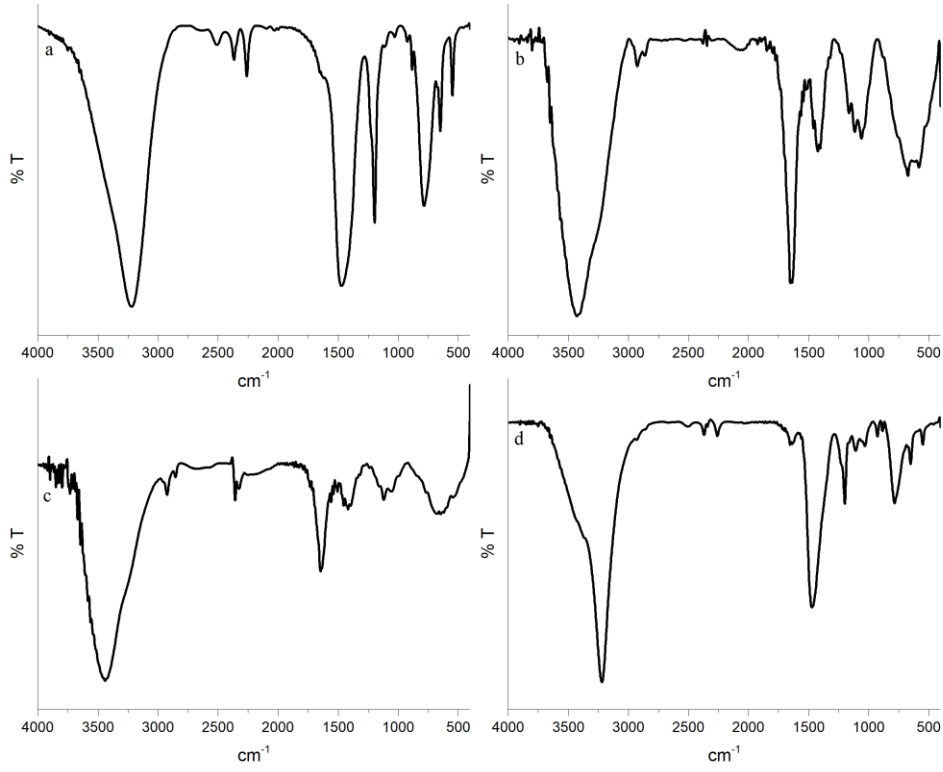
Şekil 4(b) incelendiğinde GBA içerisinde ki $2\theta=11.38^\circ$ 'deki kırınım piki GO yapısına, $2\theta= 14, 27.16$ ve 57° 'deki düşük yoğunluklu pikler H_3BO_3 'ün kristal yapısına (Zhang vd., 2019; AL-Taie vd., 2014) aittir. GBO'ya ait XRD spektrumu incelendiğinde ise $2\theta=15, 28^\circ$ 'deki pikler ise GBO içerisinde ki B_2O_3 kristal yapısına ait piklerdir (Şekil 4 (d)) (Ojha vd., 2018).



Şekil 4. (a) H_3BO_3 , (b) GBA, (c) B_2O_3 ve (d) GBO Solüsyonlarının XRD spektrumları (XRD spectrum of (a) H_3BO_3 , (b) GBA, (c) B_2O_3 ve (d) GBO solutions)

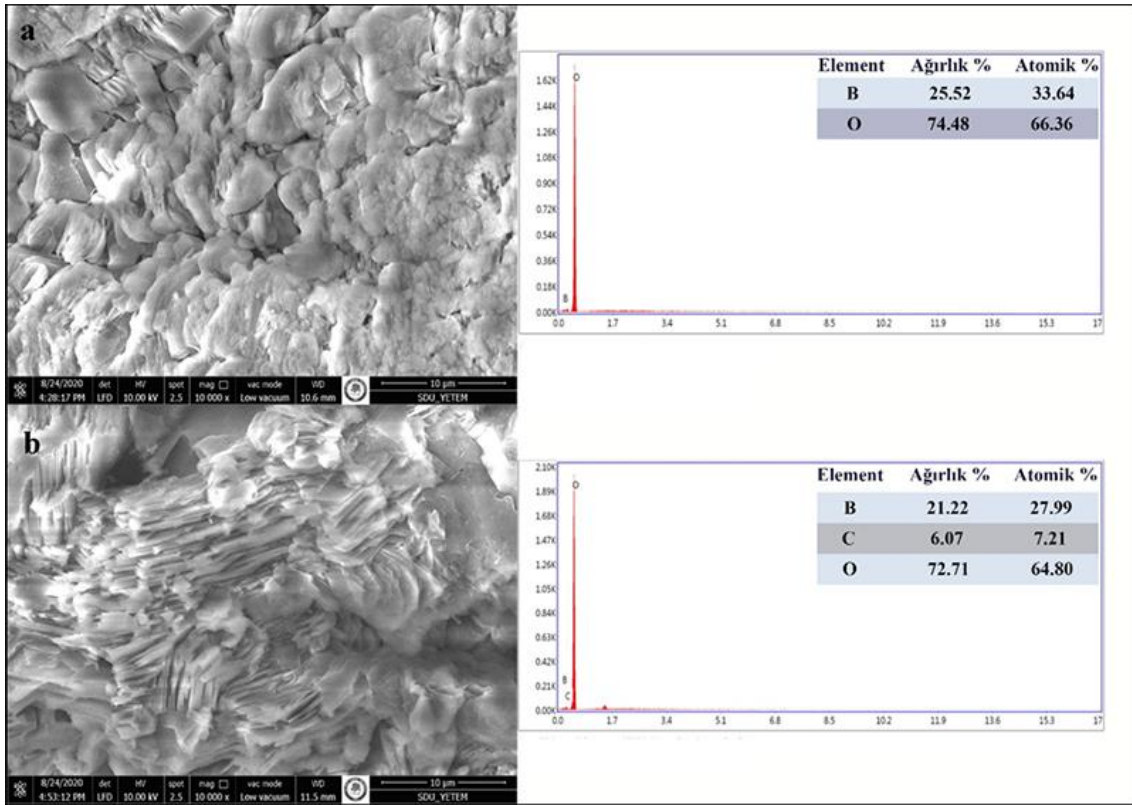
FTIR spektrumu incelendiğinde (Şekil 5) GBA ve GBO yapılarına ait O-H gerilme titreşiminin sırasıyla 3430 cm^{-1} ve 3220 cm^{-1} 'de gözlenmiştir. GBA yapısında 570 ve 670 cm^{-1} 'deki bantlar O-B-O halka gerilmesine, 1651 cm^{-1} dalga sayısındaki bant GO'ya ait C=C titreşimine ve $1164-1062\text{ cm}^{-1}$ 'deki B-C germe titreşimlerine ait bant ise karbon ağındaki bor katkısını doğrulamaktadır (Zhang vd., 2016; Wang vd., 2016; Sankaran,ve Viswanathan, 2007; Sahoo vd., 2015).

GBO spektrumunda ki 1645 cm^{-1} 'de bant GO'nun C=C gerilmesine, 2369 ve 2254 cm^{-1} 'de gözlenen titreşim bantları ise B-H titreşim bandına aittir. 1476 cm^{-1} 'de meydana gelen pikler B_2O_3 GO oluşumunu destekleyen B-O gerilme titreşimine aittir (Moon vd., 2004; Xue vd., 2013). $1196-1035\text{ cm}^{-1}$ arasında B-C gerilme titreşiminden kaynaklanan pikler ise karbon kafesindeki borun katkısını doğrulamaktadır (Sankaran,ve Viswanathan, 2007; Sahoo vd., 2015; Moon vd., 2004).



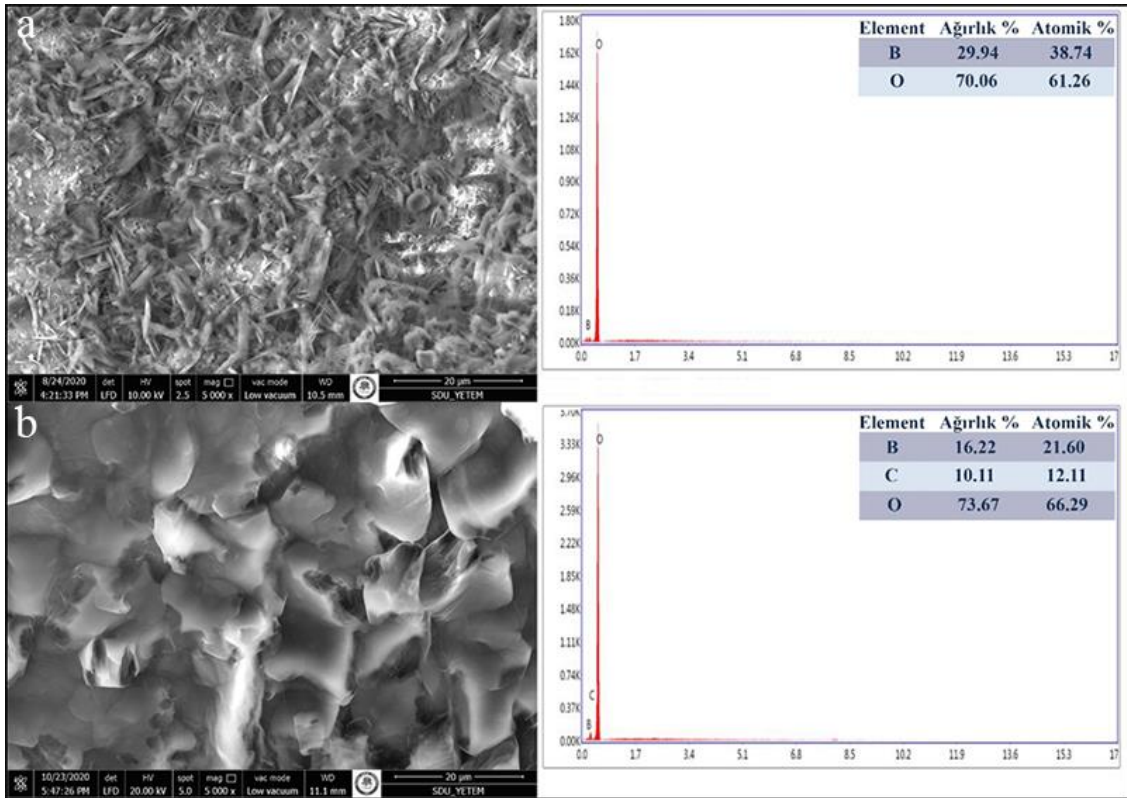
Şekil 5. (a) H₃BO₃, (b) GBA, (c) B₂O₃ ve (d) GBO solüsyonlarının FTIR spektrumu (FTIR spectrum of (a) H₃BO₃, (b) GBA, (c) B₂O₃ ve (d) GBO solutions)

Şekil 6 incelendiğinde GO'nun H₃BO₃ ile katkılanmasından sonra H₃BO₃ kristal taneciklerini GO'nun tabakaları arasında dağıtarak homojen bir morfoloji oluşturduğu görülmektedir.



Şekil 6. a) H_3BO_3 ve b) GBA SEM/EDS görüntüsü (SEM/EDX image of H_3BO_3 ve b) GBA)

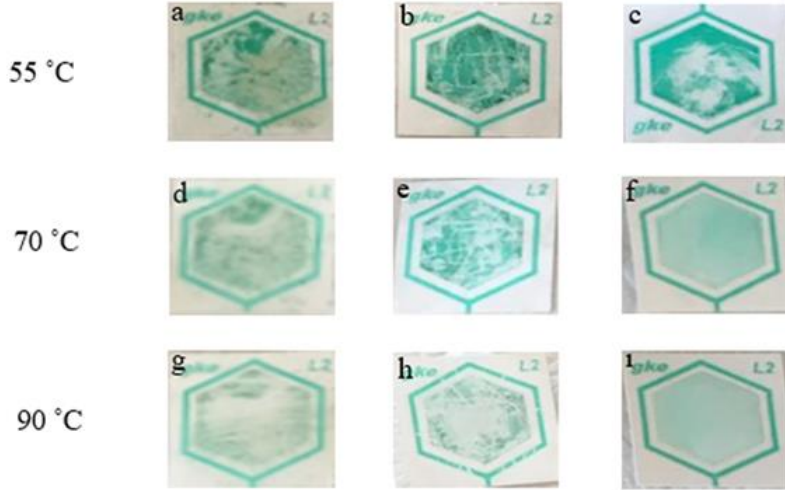
Şekil 7 incelendiğinde B_2O_3 nano yapısı gereği kümelenmiş yapıda küresel forma yakın morfolojidedir (Demirci vd., 2015). GBO yapısı oluşumu bütünleşen yapı ve EDS analiz sonuçlarında ki karbon varlığı ile de desteklenmiştir.



Şekil 7. a) B_2O_3 ve b) GBO SEM/EDS (SEM/EDX image of a) B_2O_3 ve b) GBO)

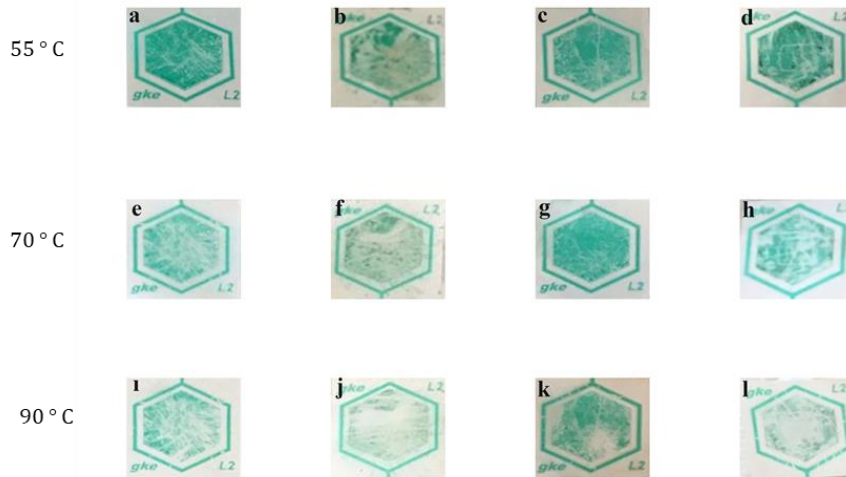
3.3. Solüsyonların Yıkama Verimliliği Sonuçları (Washing Efficiency Results of Solutions)

%2 H_3BO_3 ve B_2O_3 katkılı GO sterilizasyon ön işlem solüsyonlarının yıkama etkinlik tespiti için muadil solüsyon kontrol grubu seçilerek sentezlenen GBA ve GBO solüsyonlarının içerisine yıkama etkinlik kontrol indikatörleri ilave edilerek farklı sıcaklıklardaki (55°C, 70°C ve 90°C) etkinlikleri karşılaştırılmıştır. %2 bor katkılı GO çözeltilerinin düşük sıcaklıklarda birbirine ve muadil çözelti ile benzer etkinlikte iken artan sıcaklıkla beraber sentezlenen çözeltilerinin yıkama etkinliklerinin arttığı indikatör kağıtlarında ki renk dönüşümü ile gözlemlenmiştir (Şekil 8).



Şekil 8. %2 GBA (a,d,g), %2 GBO (b,e,h) ve Referans Çözeltilerinin (c,f,i) Yıkama Verimliliği Sonuçları (Washing Efficiency Results of %2 GBA (a,d,g), %2 GBO (b,e,h) and Reference Solutions (c,f,i))

Sentezlenen sterilizasyon ön işlem solüsyonlarının yıkama etkinliklerinin daha iyi anlaşılabilmesi için H_3BO_3 ve B_2O_3 çözeltilerinin GO ile katkılardan saf çözeltileri hazırlanıp içerisine yıkama etkinlik kontrol indikatörleri ilave edilerek değişen sıcaklıklardaki (55°C, 70°C ve 90°C) etkinlikleri Şekil 9'da gösterilmiştir.



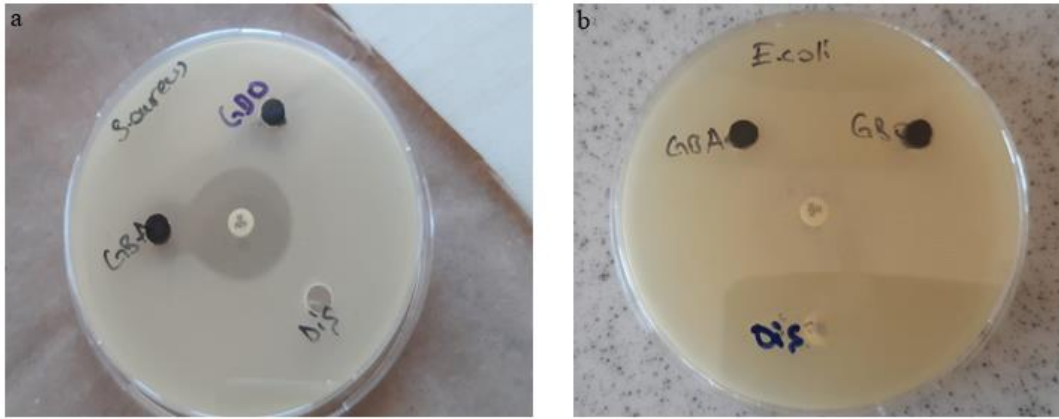
Şekil 9. %2 H_3BO_3 (a,e,i), %2 GBA (b,f,j) ve %2 B_2O_3 (c,g,k), %2 GBO Çözeltilerinin (d,h,l) Yıkama Verimliliği Sonuçları (Washing efficiency results of %2 H_3BO_3 (a,e,i), %2 GBA (b,f,j) and %2 B_2O_3 (c,g,k), %2 GBO solutions (d,h,l))

Şekil 9 incelendiğinde %2 H_3BO_3 katkılı GO çözeltisinin, saf %2'lik H_3BO_3 çözeltisine göre yıkama veriminin daha etkin olduğu indikatör kağıtlarındaki renk dönüşümü ile gözlemlenmiştir. Benzer şekilde GBO çözeltisinin, saf %2'lik B_2O_3 çözeltisine göre yıkama veriminin daha etkin olduğu buna ilaveten her iki bor kaynağı ile katkılanmış

yapıların düşük sıcaklıklarda benzer iken artan sıcaklıkla paralel olarak yıkama etkinliklerinin arttığı indikatör kağıtlarındaki renk dönüşümü ile gözlemlenmiştir.

3.4. Antibakteriyel Etkinin Değerlendirilmesi (Assessment of Antibacterial Effect)

Optimize edilen konsantrasyonlarda antibakteriyel aktiviteyi kuyucuk difüzyon yöntemi kullanılarak gram pozitif (*Staphylococcus aureus*) ve gram negatif (*Escherichia coli*) bakteriler için 24 saatlik inkübasyon sonucuna göre değerlendirilmiştir (Şekil 10).



Şekil 10. a) GBA, GBO ve Referans çözeltinin *S. aureus* (a) ve *E. coli* (b) Üzerine Etkisi (Effect of GBA, GBO and Reference solution on *S. aureus* (a) and *E. coli* (b))

Kuyucuk difüzyon yönteminde test edilecek maddeyi içeren bir kuyucuk sistemi ve test organizmasının bulunduğu uygun bir besiyeri kullanılmaktadır. Kuyucuklara koyulan maddenin konsantrasyonunun artması veya azalması ile aktivitenin oluşturduğu inhibisyon zonlarının çaplarının doğru orantılı olarak artması veya azalması beklenmektedir. 24 saatlik inkübasyon süresi sonunda sonuçlar değerlendirildiğinde sektörde kullanılan muadil solüsyon da dahil olmak üzere sentezlenen borla katkılanmış GO yapılarında da antibakteriyel etki gözlenmemiştir.

4. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Bu çalışmada H_3BO_3 ve B_2O_3 katkılı GO'nun sterilizasyon ön işlem solüsyonu olarak kullanılabilirliği deneysel olarak araştırılmıştır. Optimize edilen deney koşullarında sentezlenen solüsyonlarının karakterizasyon sonuçlarının belirlenmesinde XRD, FTIR ve SEM/EDS analizleri kullanılmış ve elde edilen sonuçlar GO'ya bor atomunun katkılanması doğrulanmıştır.

%2 bor katkılı GO çözeltilerinin sterilizasyon ön işlem solüsyonlarının yıkama etkinliklerinin GO yapısına katkılanmasıyla arttığı görülmüştür. Bu sonucun GO'nun moleküler veya koloidal bir yüzey aktif madde olarak davranması ara yüzeydeki gerilimi azaltarak sterilizasyon ön işlem solüsyonunun dental el aletleri ile temasını arttıran yönde etki etmesi ile açıklanabilmektedir. Buna ilaveten %2 bor katkılı BGO solüsyonlarının düşük sıcaklıklarda birbirine benzer ve muadil çözelti ile benzer etkinlikte iken artan sıcaklıkla paralel olarak yıkama etkinliklerinin arttığı gözlemlenmiştir.

Antibakteriyel etki sonuçları değerlendirildiğinde sektörde kullanılan muadil ürün de dahil olmak üzere çözeltilerde belirlenen konsantrasyonlarda antibakteriyel etki gözlenmemiştir. Borik asitin antibakteriyel, antikandidal ve antifungal aktivite gösterdiği çeşitli çalışmalarda ispatlanmıştır (Xue vd., 2013; Karaarslan vd., 2005; Yılmaz, 2012). İnsan kök kanallarındaki *E. Faecalis* biyofilmleri üzerindeki en etkili bakterisidal koşulların %6 borik asit konsantrasyonunda ulaşıldığı (Saglam vd., 2013), başka bir çalışmada borik asidin 20 farklı mikroorganizmanın tümüne karşı %6 konsantrasyonda ilk dakikadan itibaren etkin olduğu bulunmuştur (Zer vd., 2020). Yapılan literatür çalışmaları göz önüne alındığında BGO yapısındaki H_3BO_3 ve B_2O_3 farklı sağlık uygulamalarında antibakteriyel etkisi ispatlanmıştır. GO için yine bir diş malzemesi olan diş implantlarında yapmış olduğumuz 'Antibakteriyel Dental İmplant Ve Abutment Geliştirilmesi İçin Yeni Bir Kaplama Yöntemi' isimli ticarileşmiş patentimizde de GO nun aynı miktarı (%1 w/v) ile antibakteriyel etkinin sağlandığı gözlenmiştir. İleri ki çalışmalarda optimize edilmiş aynı deneysel koşullarda farklı derişim değerlerinde H_3BO_3 ve B_2O_3 çalışmalar yapılarak antibakteriyellik etkinin geliştirilebileceği düşünülmektedir.

Teşekkür (Acknowledgement)

Bu araştırma, TÜBİTAK Üniversitesi Öğrenci Araştırma Projeleri Desteği tarafından 2209/A 1919B011903903 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)

- Agnoli, S., Favaro, M., 2016. Doping graphene with boron: a review of synthesis methods, physicochemical characterization, and emerging applications. *Journal of Materials Chemistry A*, 4, 5002-5025.
- Albuz, O., Dulger, D., Tunalı, B.Ç., Aydın, F., Yalcin, S., Turk, M., 2019. Effects of B2O3 (boron trioxide) on colon cancer cells: our first-step experience and in vitro results. *Turkish journal of biology*, 43 (3), 209-223.
- AL-Taie, M.H., Chyad, F.A., AlaaJaber, H., 2014. An Experimental Investigation of B4C Preparation from Boric Acid-Polymeric Gel Precursors at Low Temperature. *Iraqi journal of mechanical and material engineering*, 14 (4), 408-422.
- Cakmak, A., Ozcan, H., 2022. Bor oksit nanoparçacıklarının dizel yakıt katkısı olarak kullanılabilirliğinin araştırılması. *Journal Of Boron*, 7 (1), 420 – 429.
- Demirci, S., Dogan, A., Karakus, E., Halici, Z., Topcu, A., Demirci, E., Sahin, F., 2015. Boron and Poloxamer (F68 and F127) Containing Hydrogel Formulation for Burn Wound Healing. *Biological Trace Element Research*, 168 (1), 169–180.
- Dimiev, A.M., Eigler, S., 2017. *Graphene Oxide: Fundamentals and Applications* (Eds.), John Wiley & Sons, ISBN: 978-1-119-06940-9.
- Erbil, H., 2005. Yıkayıcı-Dezenfektörler ile Temizleme-Dezenfeksiyon İşlemleri. 4. Uluslararası Sterilizasyon Dezenfeksiyon Kongresi, 323-334.
- Eseceli, H., Aydın, T., Gönen, B., 2018. Bor'un İnsan Sağlığı ve Beslenme Üzerine Etkisi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 9 (2), 119-122.
- Goenka, S., Sant, V., Sant, S. 2014. Graphene-based nanomaterials for drug delivery and tissue engineering. *Journal of Controlled Release*. Elsevier B.V., 173 (1), 75–88.
- Ilhan, Z., Ekin, İ.H., Gulaydin, Ö., 2019. Borik Asit Solüsyonunun *Listeria monocytogenes* ve *Staphylococcus aureus*'a Karşı Antimikrobiyel Etkisi. *Van Veterinary Journal*, 30 (3), 163-166.
- Kapukaya, R., Kulahci, O., 2020. Doku Defektine Sahip Yaraların Borik Asit İçeren Poliüretan Süngerle Tedavisi. *Journal Of Boron*, 5 (2), 83 – 90.
- Karaarslan, A., Ozcan, M., Ozcan, M., 2005. The Efficacy of Boric Acid in Otomycosis: An in Vitro Study. *The Mediterranean Journal of Otology*, 2, 1-4.
- Lee, J., Kim, J., Kim, S., Min, D., 2016. Biosensors based on graphene oxide and its biomedical application. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 13.
- Lehmann, D.M., Cavet, M.E., Richardson, M.E., 2010. Nonclinical safety evaluation of boric acid and a novel borate-buffered contact lens multi-purpose solution. *Biotrue™ multi-purpose solution*. *Contact Lens & Anterior Eye*, 33 (1), 24-32.
- Lu, Y.J., Yang, H.W., Hung, S.C., Huang, C.Y., Li, S.M., Ma, C.C.M., Chen, P.Y., Tsai, H.C., Wei, K.C., Chen, J.P., 2012. Improving thermal stability and efficacy of BCNU in treating glioma cells using PAA-functionalized graphene oxide. *International Journal of Nanomedicine*, 7, 1737-1747.
- Moon O.M., Kang B.C., Lee S.B., Boo J.H., 2004. Temperature effect on structural properties of boron oxide thin films deposited by MOCVD method. *Thin Solid Films*, 464, 164–169.
- Nanda, S.S., Papaefthymiou, G.C., Yi, D.K. 2015. Functionalization of Graphene Oxide and its Biomedical Applications. *Critical Reviews in Solid State and Materials Sciences*, 40(5), 291–315.
- Ojha, P.K., Maji, R., Karmakar, S., 2018. Effect of crystallinity on droplet regression and disruptive burning characteristics of nanofuel droplets containing amorphous and crystalline boron nanoparticles. *Combustion and Flame*, 188, 412–427.
- Rani, P., Jindal, V.K., 2013. Designing band gap of graphene by B and N dopant atoms. *The Royal Society of Chemistry*, 3, 802-812.
- Ray, S.C., 2015. Applications of Graphene and Graphene-Oxide Based Nanomaterials. *Applications of Graphene and Graphene-Oxide Based Nanomaterials*, 57-84.
- Renders, D.P., Ersoz, G., Ozinel, M.A., Metin, D.Y., 2019. 11. Uluslararası Sterilizasyon Dezenfeksiyon Kongresi - Kongre Kitabı (Eds.). DAS, Türkiye, 166s. ISBN: 978-605-80145-1-0
- Saglam, M., Arslan, U., Bozkurt, S.B., Hakki, S.S., 2013. Boric Acid Irrigation as an Adjunct to Mechanical Periodontal Therapy in Patients With Chronic Periodontitis: A Randomized Clinical Trial. *Journal of Periodontology*, 84 (9), 1297–1308.
- Sahoo, M., Sreena, K.P., Vinayan, B.P., Ramaprabhu, S., 2015. Green synthesis of boron doped graphene and its application as high performance anode material in Li ion battery. *Materials Research Bulletin*, 61, 383-390.
- Samastı, M., Saltoğlu, N., Öztürk, R., 2008. Hastanelerde Dezenfeksiyon: Kullanım Esasları, Yapılan Hatalar. *Hastane Enfeksiyonları*, 143-168.
- Sankaran, M., Viswanathan, B., 2007. Hydrogen storage in boron substituted carbon nanotubes. *Carbon*, 45, 1628-1635.
- Shao, J.J., Lv, W., Yang, Q.H., 2014. Self-assembly of graphene oxide at interfaces. *Advanced Materials*, 26 (32), 5586-5612.
- Sun, N., Yin, S., Lu, Y., Zhang, W., Jiang, X., 2020. Graphene oxide-coated porous titanium for pulp sealing: an antibacterial and dentine-inductive restorative material. *Journal of Materials Chemistry B*, 8, 5606-5619.
- Truong, V.T.T., Kumar, S.R., Pang, J.H.S., Liu, Y.K., Chen, D.W., Lue, S.J., 2020. Synergistic Antibacterial Activity of Silver-Loaded

- Graphene Oxide towards Staphylococcus Aureus and Escherichia Coli. *Nanomaterials*, 10 (2), 366.
- Turkaslan, S.S., Ugur S.S., Turkaslan B.E., Fantuzzi N. 2022. Evaluating the X-ray-Shielding Performance of Graphene-Oxide-Coated Nanocomposite Fabric. *Materials*, 15 (4), 1441.
- Vries, J., 2014. Sterilization Guidelines. International Committee of the Red Cross (ICRC).
- Wang Y., Wang C., Wang Y., Liu H., Huang Z., 2016. Boric acid assisted reduction of graphene oxide: A promising material for sodium ion batteries. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 8 (29), 18860-18866.
- World Health Organization (WHO), Pan American Health Organization (PAN), 2016. Decontamination and Reprocessing of Medical Devices for Health-care Facilities. World Health Organization and Pan American Health Organization, ISBN 978-92-4-154985-1.
- Xue, Y., Yu, D., Dai, L., Wang, R., Li, D., Roy, A., Lu, F., Chen, H., Liu, Y., Qu, J., 2013. Threedimensional B,N-doped graphene foam as a metal-free catalyst for oxygen reduction reaction. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 15 (29), 12220-12226.
- Yılmaz, M.A., 2009. Amonyum Pentaborat Oktahidratın Akışkan Yatakta Kalsinasyonu İle Bor Oksit Üretimi. Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 84s, Şanlıurfa.
- Yılmaz M.T., 2012. Minimum inhibitory and minimum bactericidal concentrations of boron compounds against several bacterial strains. *Turk J. Med. Sci.*, 42,1423- 1429.
- Zan, R., Alici, O., Hubbezoglu, I., Ozdemir, A. K., Tunç, T., Sumer, Z., 2013. Antibacterial Effect of Different Concentration of Boric acid against Enterococcus Faecalis Biofilms in Root Canal. *Marmara Dental Journal*, 2, 76-80.
- Zer, Y., Karabacak, F.N., Manay A.B., 2020. Borik asitin dezenfektan etkinliğinin araştırılması. *Turkish Journal of Hygiene and Experimental Biology*, 79 (1), 145-152.
- Zhang, R., Xie, Y., Song, J., Xing L., Kong, D., Li, X.M., He, T., 2016. Extraction of boron from salt lake brine using 2-ethylhexanol. *Hydrometallurgy*, 160, 129- 136.
- Zhang, W., Liu, T., Xu, J., 2012. Preparation and characterization of 10B boric acid with high purity for nuclear industry. *Springer Plus*, 5, 1202-1211.



AKRİLİK LİF İNCELİĞİ VE RELAKSE/RELAKSE OLMAMIŞ KARIŞIM ORANLARININ KAPSAMLI ANALİZİ: İPLİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİLERİ

Behzat YILDIRIM^{1*}, Muhammed İdris AKTAŞ², Mehmet TOPALBEKİROĞLU¹

¹ Gaziantep Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Gaziantep, Türkiye

² Boyar Kimya San. ve Tic. A. Ş., Gaziantep, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Akrilik,
Lif İnceliği,
Relakse/Relakse
Olmamış,
Yüksek Hacimli,
İplik Özellikleri.

Öz

Günümüzde tekstil endüstrisindeki hızlı teknolojik gelişmeler, malzeme bilimi ve tekstil mühendisliği alanlarında derinlemesine araştırmalara olan ihtiyacı artırmaktadır. Tekstil malzemelerinin özelliklerini anlamak ve geliştirmek, endüstriyel uygulamalarda ve günlük yaşamımızda karşılaştığımız tekstil ürünlerinin performansını optimize etmek için kritik öneme sahiptir. Bu çalışma, özellikle farklı incelikteki akrilik liflerin relakse/relakse olmamış karışım oranlarının, iplik özellikleri üzerindeki etkilerini anlamak ve değerlendirmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışmada 1,7 dtex, 2,75 dtex ve 3,3 dtex olmak üzere üç farklı incelikte akrilik liflerinden altı farklı relakse/relakse olmamış karışım oranında (100/0, 80/20, 60/40, 40/60, 20/80 ve 0/100) 18 farklı iplik üretilmiştir. Bu ipliklerin kopma mukavemeti, kopma uzaması (%), iplik düzgünsüzlüğü (CVm, %), ince yer, kalın yer, neps ve tüylülük gibi kritik iplik özellikleri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, lif inceliği arttıkça kopma mukavemeti ve kopma uzaması değerlerinin de arttığını göstermiştir. Relakse/relakse olmamış karışimli ipliklerde, özellikle relakse oranının artması kopma mukavemeti üzerinde ilginç bir eğilim göstermiştir. Ayrıca, karışimli ipliklerde genel olarak relakse oranı arttıkça iplik hataları azalmıştır.

COMPREHENSIVE ANALYSIS OF ACRYLIC FIBER FINENESS AND RELAX/UNRELAX BLEND RATIOS: EFFECTS ON YARN PROPERTIES

Keywords

Acrylic,
Fiber Fineness,
Relax/Unrelax,
High-Bulk,
Yarn Properties.

Abstract

The rapid technological advancements in the textile industry today have increased the need for in-depth research in the fields of materials science and textile engineering. Understanding and enhancing the properties of textile materials are crucial for optimizing the performance of textile products encountered in both industrial applications and our daily lives. This study aims to comprehend and assess the effects of relax/unrelax blend ratios of acrylic fibers with varying fineness on yarn properties. Sixteen different yarns were produced using acrylic fibers of three different finenesses, namely 1.7 dtex, 2.75 dtex, and 3.3 dtex, with six different relax/unrelax blend ratios (100/0, 80/20, 60/40, 40/60, 20/80, and 0/100). Critical yarn properties such as tensile strength, breaking elongation (%), unevenness (CVm, %), thin places, thick places, neps, and hairiness were meticulously examined. The results indicate that as fiber fineness increases, both tensile strength and breaking elongation (%) values also increase. In relax/unrelax blended yarns, especially increasing the relax ratio showed an interesting trend on the tensile strength. Furthermore, as the relax ratio generally increases in blended yarns, yarn defects decrease.

Alıntı / Cite

Yıldırım, B., Aktaş, M. İ., Topalbekiroğlu, M., (2024). Akrilik Lif İnceliği ve Relakse/Relakse Olmamış Karışım Oranlarının Kapsamlı Analizi: İplik Özellikleri Üzerine Etkileri, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 12(2), 377-383.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

B. Yıldırım, 0000-0002-7787-0595

M. İ. Aktaş, 0000-0002-7141-7984

M. Topalbekiroğlu, 0000-0003-4345-8815

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date 29.12.2023

Revizyon Tarihi / Revision Date 10.06.2024

Kabul Tarihi / Accepted Date 27.05.2024

Yayın Tarihi / Published Date 30.06.2024

* İlgili yazar / Corresponding author: behzatyildirim@gantep.edu.tr, +90-342-317-2737

COMPREHENSIVE ANALYSIS OF ACRYLIC FIBER FINENESS AND RELAX/UNRELAX BLEND RATIOS: EFFECTS ON YARN PROPERTIES

Behzat YILDIRIM^{1†}, Muhammed İdris AKTAŞ², Mehmet TOPALBEKİROĞLU¹

¹ Gaziantep Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Gaziantep, Türkiye

² Boyar Kimya San. ve Tic. A. Ş., Gaziantep, Türkiye

Highlights

- Acrylic yarns were produced from fibers of different fineness and relax/unrelax ratios.
 - The combined effect of fiber fineness and relax/unrelax blend ratio was examined.
 - In mechanical analysis, the critical relax/unrelax mixture ratio was determined.
 - Fiber fineness and relax ratio had significant effects on yarn unevenness defects.
-

Purpose and Scope

By investigating the combined influence of different fiber fineness and relax/unrelax blend ratios, this study seeks to make noteworthy advancements in the textile sector. The purpose of this research is to identify the key elements that influence the characteristics of acrylic fibers and yarns, aims to provide valuable information for industrial applications.

Design/methodology/approach

The acrylic fibers of three different finenesses (1.7, 2.75 and 3.3 dtex) were used and six different relax/unrelax ratios (100/0, 80/20, 60/40, 40/60, 20/80 and 0/100) a total of 18 different yarns were produced. The blended acrylic yarns were obtained by producing Nm 28/2 yarn count and 120 T/m twist value, in volufil machine at 650 m/min production rate and 140 °C oven temperature.

Findings

In addition, it has been observed that fiber fineness and relax ratio have a significant effect on yarn faults such as thin places, thick places, and neps. As fiber fineness increased in blended yarns, breaking strength, and breaking elongation (%) values increased. In relax/unrelax mixtures, the tensile strength decreased with the increase in the relax ratio up to 60%.

Originality

The literature review typically reveals a focus on relax/unrelax blend ratios. This study presents a different approach by combining the analysis of acrylic fiber fineness and relax/unrelax blend ratios, offering a novel perspective compared to previous research. The results indicate that the combined evaluation of these two key parameters has a more comprehensive and significant impact on the properties of acrylic yarns.

1. Giriş (Introduction)

Endüstride sentetik elyaflar arasında yer alan akrilik lifine olan talep oranı son yıllarda oldukça artmıştır. Akrilik, yün elyafına benzerliği ve üstün performans özellikleri göstermesi ile öne çıkmaktadır (Ishtiaque ve Behera, 1991; Wyne vd., 1997). Bu özellikleri arasında düşük maliyet, hafiflik, ısıyı tutma, yüksek korozyon direnci ve yüksek mukavemeti de yer almaktadır (Piller, 1973; Ishtiaque ve Behera, 1991; Wyne vd., 1997; Tiyek ve Bozdoğan, 2005). Bu özelliklerinden dolayı akrilik, trikolar, peluş üretiminde, karbon lif üretiminde, halı, ev tekstili, otomotiv ve uzay endüstrisi gibi pek çok alanda kullanım alanı bulmaktadır (Piller, 1973; Ishtiaque ve Behera, 1991; Kirecci vd., 2011; Tiyek vd., 2016; Canlı ve Çelik, 2018; İçoğlu vd., 2023).

Poliakrilonitril polimerleri, akrilonitril monomerlerinden radikal zincir polimerizasyonu yoluyla üretilmektedir (Hamilton, 1961; Wray, 1969). Bu polimerler, akrilik liflerin temel yapı taşlarını oluşturmaktadır ve liflerin fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirlemektedir. Akrilik liflerinin tek başına kullanımı oldukça yaygın olmakla birlikte yün, pamuk, polyester, viskon ve modal lifleri ile karıştırılarak da kullanılabilir (Hamilton, 1961; Ishtiaque ve Behera, 1991; Wyne vd., 1997). Bu karışımlar ile elde edilen ipliklerin performans özelliklerinde önemli iyileştirmeler sağlanmaktadır (Hamilton, 1961; Ishtiaque ve Behera, 1991).

[†] İlgili yazar / Corresponding author: behzatyildirim@gantep.edu.tr, +90-342-317-2737

Akrilik ipliklerinde lif inceliği, iplik ve kumaşların önemli bir takım özellikleri üzerinde belirleyici bir faktördür. Lif inceliği, akrilik ipliklerin dokuma, örme veya diğer üretim süreçlerindeki performansını ve son ürün özelliklerini etkilemektedir (Hamilton, 1961; Piller, 1973). Lif inceliği, estetik görünüm, doku kalitesi, yumuşak doku, ısı izolasyonu, hafiflik, mukavemet ve esneklik gibi iplik özelliklerini etkilemektedir (Hamilton, 1961; Wyne vd., 1997). Akrilik ipliklerde lif inceliği seçimi, nihai ürünün özelliklerini belirleyen çok yönlü bir faktördür ve tekstil üreticileri, tasarımcılar ve tüketiciler arasında tercihlere göre değişebilmektedir.

Akrilik liflerinin örtücülük gücünü ve ısı yalıtım özelliklerini iyileştirmek için hacmini arttırmaya yönelik çalışmalar önem kazanmıştır (Piller, 1973). Akrilikler geçici gerilimlerin ısıyla liflere sabitlenmesini sağlayan termo-mekanik özelliklere sahiptir (Hamilton, 1961; Najar vd., 2005). Bu gerilimler iplik gevşediğinde açığa çıkmaktadır. Gevşeme sırasında büzüşen ve hacim olarak artan lifler yüksek hacimli (high-bulk) bir yapı kazanmaktadır (Piller, 1973; Najar vd., 2005). Liflere yüksek hacimlilik kazandırma işlemi genel olarak buhar prosesi ile yapılmaktadır. Buhar prosesi, liflerin gerilmesini sağlayarak, özellikle yüksek hacimli akrilik ipliklerin karakteristiklerini belirleyen bir faktördür. Bu süreç, liflerin bir arada tutulmasını ve gevşetilmiş liflerin büzülmemiş liflerle etkileşimini düzenlemektedir, bu da ipliğe hacimli, sıcak ve yumuşak bir his vermektedir (Najar vd., 2005). Üretim sırasında buhar prosesi uygulanan akrilik lifler, relakse (relax veya büzülme), uygulanmayan lifler ise relakse olmamış (unrelax veya büzülmesiz) olarak tanımlanmaktadır. Bu iki lif türü farklı oranlarda karıştırılarak hacimli iplikler üretilebilmektedir (Sarioğlu vd., 2019; Turgut vd., 2023). Akrilik liflerin fiziksel özelliklerini kontrol etme ve iyileştirme potansiyeli, endüstriyel uygulamalarda ve tüketici ürünlerinde çeşitli talepleri karşılamak için önemlidir. Bu bağlamda, relakse ve relakse olmamış karışım oranlarının akrilik liflerin özellikleri üzerindeki etkileri, malzeme bilimi ve tekstil mühendisliği alanındaki araştırmacılar için önemli bir odak noktası olmuştur.

Relakse/relakse olmamış karışımli akrilik iplikleri üzerine yapılan önceki çalışmalarda, relakse oranının kritik bir öneme sahip olduğu belirlenmiştir (Najar vd., 2005; Bakhtiari vd., 2006). Bu çalışmalarda elde edilen sonuçlar, %40 relakse karışım oranının ipliğin kopma mukavemeti ve kopma uzaması özellikleri için optimum değeri sağladığını göstermiştir (Najar vd., 2005; Bakhtiari vd., 2006). Yine, farklı relakse karışım oranları kullanılarak üretilen iplikler örme kumaş formuna getirilmiş ve bu kumaşlara basınç testi uygulanmıştır (Najar vd., 2005; Bakhtiari vd., 2006). Bakhtiari vd. (2006) tarafından yapılan bir çalışmada, örme kumaşlarda %40 relakse karışım oranının en yüksek hacim ve aşınma direncini sağladığı belirlenmiştir. Sadeghi-Sadeghabad vd. (2015) tarafından kullanılan Taguchi metodu ile akrilik ipliklerde farklı relakse oranları için proses parametreleri optimize edilmiştir. Sarioğlu vd. (2019) akrilik örme kumaşlarında %60 relakse karışım oranı kullanarak yaptıkları çalışmada, işlem parametrelerinin ipliğin kopma mukavemeti, kopma uzaması, büzülmesi, kumaşın patlama mukavemeti ve hava geçirgenliği üzerinde etkili olduğunu tespit etmiştir. Turgut vd. (2023) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, farklı renkteki akrilik relakse karışımli liflerden örülen kumaşlara yapılan testlerde, relakse karışımli liflerdeki renk değişiminin iplik ve kumaş özellikleri üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı vurgulanmıştır. Fakat Najar vd. (2005) tarafından yapılan çalışmada, relakse akrilik ipliklerin özgül hacminin ve kopma mukavemetinin boyandıktan sonra bir miktar düştüğünü fakat büzülme ve uzama değerlerinin etkilenmediğini rapor etmişlerdir.

Önceki çalışmalarda, akrilik lifleri ile ilgili genellikle relakse/relakse olmamış karışım oranlarının ele alındığı görülmüştür. Bu çalışma, akrilik liflerinin incelikleri ve relakse/relakse olmamış karışım oranlarının birbiri ile etkileşimli analizini içererek önceki çalışmalardan farklı bir yaklaşım sunmaktadır. Elde edilen sonuçlar, bu iki temel parametrenin birleşik değerlendirmesinin, akrilik ipliklerin özellikleri üzerinde daha kapsamlı ve anlamlı bir etki yarattığını göstermektedir.

2. Materyal ve Metot (Material and Method)

2.1. Materyal (Material)

Çalışmada kullanılan 1,7, 2,75 ve 3,3 dtex inceliğindeki %100 poliakrilonitril (akrilik) lifler tow halinde Aksa Akrilik Kimya Sanayii A.Ş.'den temin edilmiştir. İplik üretimleri, Boyar Kimya San. ve Tic. A.Ş.'de yapılmıştır.

2.2. Metot (Method)

Çalışma kapsamında, üç farklı incelikte (1,7, 2,75 ve 3,3 dtex) akrilik lifler kullanılarak altı farklı relakse/relakse olmamış karışım oranında (100/0, 80/20, 60/40, 40/20, 20/80 ve 0/100) toplam 18 farklı iplik üretilmiştir. İlk olarak tow halindeki farklı incelikteki lifler relakse işlemi için sıcak buhardan geçirilmiştir. Relakse olmamış lifler için kopartma makinasında sıcak buhar uygulaması yapılmamıştır. Ardından bu lifler yeniden kopartma, 1. pasaj cer, 2. pasaj cer, 3. pasaj cer ve finisör makinelerinden geçirilerek iplik hazırlık işlemi tamamlanmıştır. Farklı incelikteki lifler, hazırlama makinelerinden geçirildikten sonra ring iplik makinesinde Nm 14/1 incelik ve 350 T/m

büküm değerinde üretilmiştir. Daha sonra iplikler katlanmış ve çift katlı olarak Nm 28/2 incelikte ve 120 T/m büküm değerinde büküm makinesinde üretilmiştir. Son aşamada ise iplikler, volufil makinesinde 650 m/dak çıkış hızında ve 140 °C fırın sıcaklığında üretilerek elde edilmiştir. Volufil makinasındaki işlemde sonra akrilik iplikleri, relakse/relakse olmamış karışım oranlarına göre hacimli bir yapı kazanmıştır.

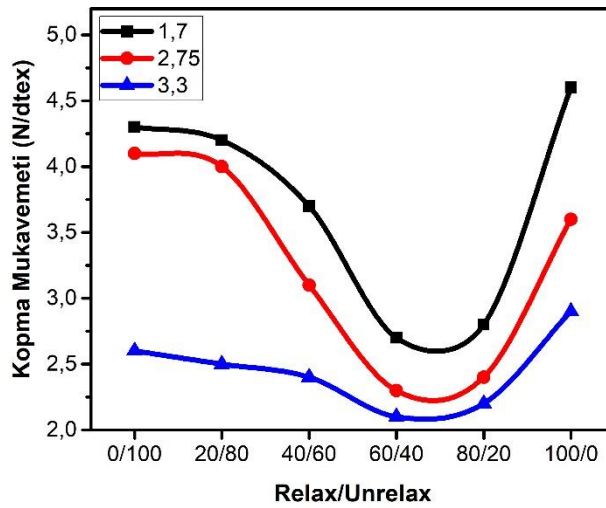
2.3. Karakterizasyon (Characterization)

İpliklerin kopma mukavemeti ve kopma uzamaları (%), James Heal Titan Universal Strength Tester cihazında EN ISO 2062 standardına uygun olarak 400 m/dak test hızı ve 500 mm test uzunluğunda ölçülmüştür. Her bir numune için toplamda 20 ölçüm gerçekleştirilmiş ve bu ölçümlerden alınan ortalamalar değerlendirilmiştir.

Ayrıca, ipliklerin düzgünlük değerleri Uster Tester 4 cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Test standart olarak her numune için 400 m/dak test hızı ve 1000 m test uzunluğunda yapılmıştır. Bu kapsamda numunelerin düzgünlük, kalın yer, ince yer, neps ve tüylülük değerleri titizlikle ölçülmüştür.

3. Sonuçlar ve Tartışma (Results and Discussion)

Relakse ve relakse olmamış karışimli ipliklerin kopma mukavemeti sonuçları Şekil 1'de verilmiştir.

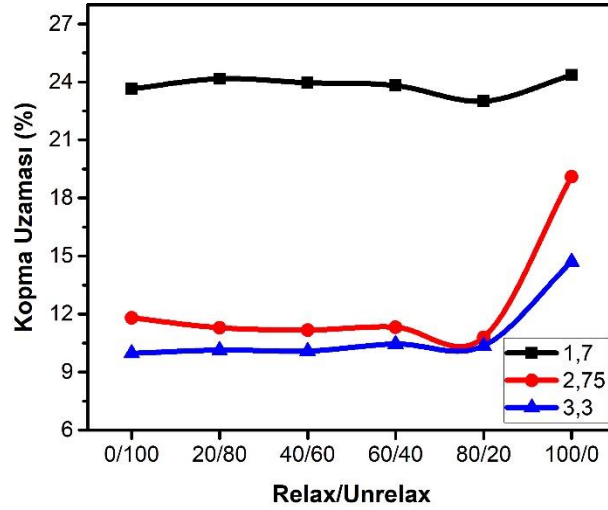


Şekil 1. Relakse/relakse olmamış karışimli ipliklerin kopma mukavemeti (Breaking strength of relax/unrelax blended yarns)

Karışimli ipliklerin kopma mukavemeti sonuçları, lif inceliğine bağlı olarak değişmektedir. Lif inceliğindeki artış, genellikle kopma mukavemetinde bir azalmaya yol açmaktadır. Kopma mukavemeti üzerindeki etki incelik açısından, relakse işlemine göre daha belirgindir. Lif inceliği, ipliğin kesitindeki lif sayısı ile doğrudan ilişkilidir, bu nedenle lif inceliği arttıkça kesitteki lif sayısı da artmaktadır. Kesitteki lif sayısındaki artış, genellikle iplik mukavemetinde kritik bir parametredir.

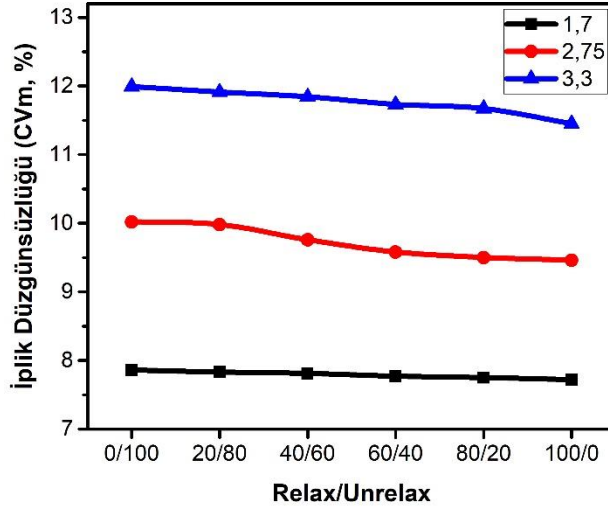
Bu çalışmada, 3,3 dtex liflerden üretilen karışimli iplikler, 2-3 N/dtex arasında bir kopma mukavemetine sahiptir. Farklı incelikteki ipliklerin kopma mukavemeti, karışım oranının etkisiyle daha geniş bir aralığa yayılmıştır. Daha ince liflerden üretilen akrilik ipliklerinde relakse oranı arttıkça kopma mukavemetindeki eğilim daha yüksektir. En yüksek kopma mukavemeti, 1,7 dtex lif inceliğinden üretilen ipliklerde gözlemlenmiştir. Ayrıca, karışimli ipliklerdeki relakse oranı %60'a kadar arttıkça kopma mukavemetinde bir azalma görülmüş, ancak bu değerden sonra artış göstermiştir. Bu değer, önceki çalışmalarda %40 olarak belirlenmişti (Najar vd., 2005). İplik mukavemetinin azalmasının nedeni buharlama işlemi sırasında relakse liflerin (%60) ipliğin merkezine doğru hareket etmesi ve kalan relakse olmamış liflerin (%40) iplik bükümüne katılması ile kopma kuvvetlerini desteklemesidir. Bu mekanizmanın bir sonucu olarak, relakse lifler ipliğin kopma kuvvetine katkıda bulunmadan önce uzama ve kırılma eğiliminde olduğundan ipliklerin kopma mukavemeti azalmaktadır (Oxtoby, 1987). Önceki çalışmada kopma mukavemetinin azalma trendi relakse oranı %40'a kadar iken (Najar vd., 2005) bu çalışmada %60 olmasının sebebi çalışmalarda kullanılan iplik numarasından kaynaklı olabilir.

En düşük kopma mukavemeti, tüm lif inceliklerinde relakse/relakse olmamış oranlarının ağırlıkça yüzde olarak 60/40 ve 80/40 olduğu durumlarda gözlemlenmiştir. Tüm lif inceliklerinde, %100 relakse ve %100 relakse olmamış ipliklerin kopma mukavemeti daha yüksek çıkmıştır. Relakse ve relakse olmamış karışimli ipliklerin kopma uzaması sonuçları Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Relakse/relakse olmamış karışımli ipliklerin kopma uzaması (breaking elongation of relax and unrelax blended yarns)

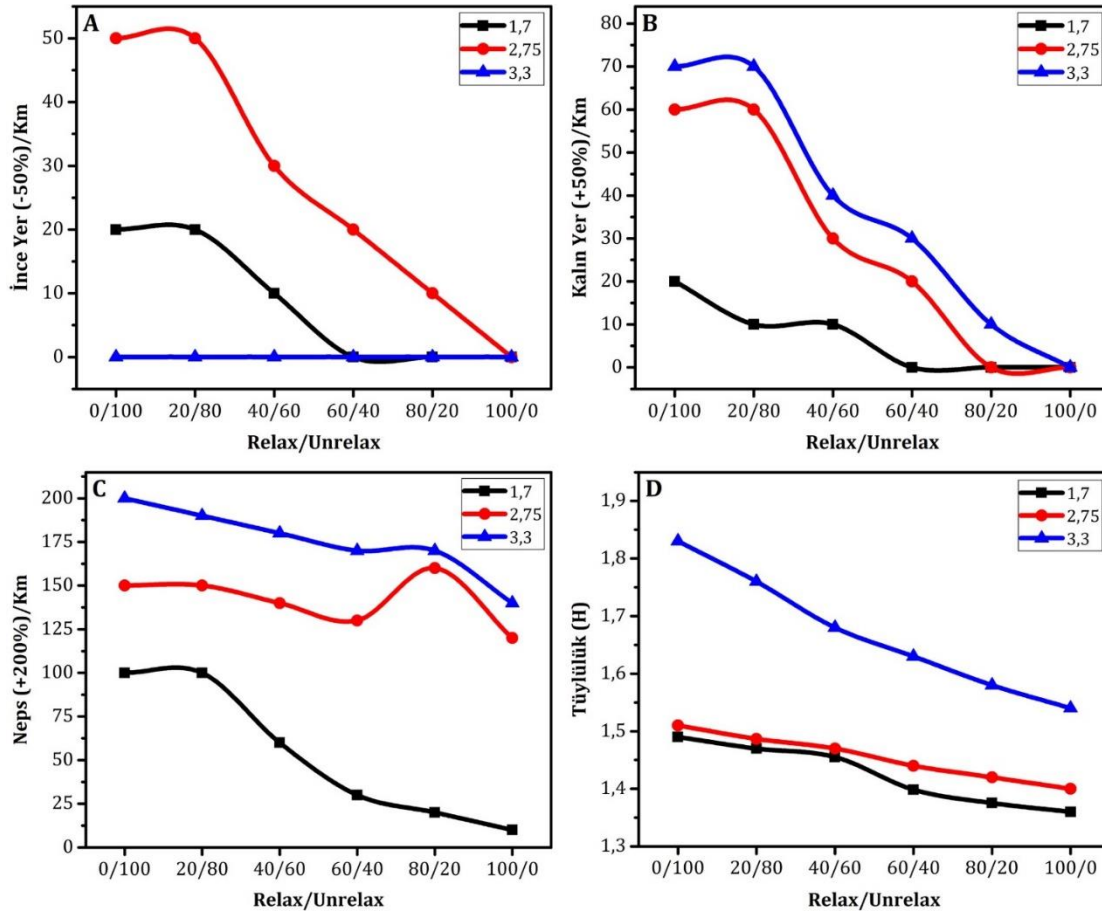
Karışımli ipliklerde lif inceldikçe kopma uzaması (%) artmıştır. En yüksek kopma uzama değeri 1,7 dtex inceliğindeki ipliklerde görülmüştür. Bu ipliklerde kopma uzaması değeri diğer liflerden üretilenlere göre daha fazladır. Relakse karışım oranı arttıkça 1,7 dtex inceliğindeki ipliklerin kopma uzamalarında önemli bir fark görülmemiştir. Bu sonuç, son kullanım açısından ipliklerin kopma uzamasının öneminden dolayı yüksek hacimli akrilik iplik üretimi için önemli bir bulgudur. Fakat özellikle 2,75 ve 3,3 dtex inceliğindeki liflerden üretilen %100 relakse ipliklerde kopma uzama değeri artmıştır. Kalın liflerde, relakse işleminden dolayı lifler bir miktar kısaldığından, liflerin önceki uzunluğuna dönmesi daha zordur. Bu etkinin %100 relakse ipliklerde görülmesi, bu durumu doğrular niteliktedir.



Şekil 3. Relakse/relakse olmamış karışımli ipliklerin düzensüzlükleri [Cvm, %] (Unevenness [Cvm, %] of relax and unrelax blended yarns)

Relakse ve relakse olmamış karışımli ipliklerin düzensüzlüğü (Cvm) Şekil 3'te sunulmuştur. Karışımli ipliklerde lif inceliği arttıkça, iplik düzensüzlüğünün attığı belirlenmiştir. Bu durum, lif inceliğindeki artışın lifler arasındaki kohezyon kuvvetini arttırması ve ince liflerin iplik bükümüne daha fazla katılması ile iplik hatalarının azalmasına bağlanabilir (Elmogahzy, 2019).

Karışımli ipliklerde relakse oranı arttıkça, iplik düzensüzlüğü azalma eğilimi göstermiştir. Özellikle daha kalın liflerden üretilen karışımli ipliklerde, relakse oranındaki artışla birlikte CV değerindeki azalmanın daha belirgin olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4. Relakse/relakse olmamış karışımli ipliklerin düzensizlik sonuçları: a) ince yer, b) kalın yer, c) neps, d) tüylülük (Unevenness results of relax/unrelax blended yarns: a) thin place, b) thick place, c) neps, d) hairiness)

Relakse ve relakse olmamış karışımli ipliklerin ince yer, kalın yer, neps ve tüylülük sonuçları Şekil 4'te gösterilmiştir. 3,3 dtex inceliğindeki liflerden üretilen karışımli ipliklerde, ince yer hatası gözlemlenmemiştir (Şekil 4a). Daha ince liflerden üretilen diğer ipliklerde, relakse karışım oranı arttıkça ince yer hatası azalmıştır. 1,7 dtex inceliğindeki ipliklerin ince yer hatası, 2,75 dtex inceliğindeki ipliklere göre daha azdır. Karışımli ipliklerde 3,3 dtex inceliğindeki lifler diğer daha ince liflere göre hacim olarak iplik içerisinde daha fazla alan kaplamaktadır. Bu sayede 3,3 dtex inceliğindeki liflerden üretilen ipliklerde ince yer hatası görülmemektedir.

Kalın yer hatası, karışımli ipliklerde relakse oranı arttıkça azalmıştır. Lif inceldikçe ve relakse oranı arttıkça hem kalın yer hatası hem de eğim trendi azalmıştır (Şekil 4b). Karışımli ipliklerde lifler inceldikçe kesitteki lif sayısı arttığından kalın yer hatası azalmaktadır (Kuthalam ve Senthilkumar, 2013).

Karışımli ipliklerde neps hatasının relakse oranı arttıkça ve lifler inceldikçe azaldığı tespit edilmiştir (Şekil 4c). 1,7 dtex inceliğindeki liflerden üretilen ipliklerde neps hatası, diğer ipliklere göre daha düşüktür. Özellikle %80 relakse oranında, 1,7 ve 3,3 dtex inceliğindeki liflerden üretilen ipliklerde neps hatasında bir artış gözlemlenmiştir. Tüylülük değeri, karışımli ipliklerde relakse oranı arttıkça ve lifler inceldikçe azalmıştır (Şekil 4d). 1,7 ve 2,75 dtex inceliğindeki liflerden üretilen ipliklerdeki tüylülük değeri, 3,3 dtex inceliğindeki liflerden üretilen ipliklere göre daha düşüktür. Ayrıca, 3,3 dtex inceliğindeki liflerden üretilen ipliklerde tüylülük değerindeki eğim trendi daha yüksektir.

Genel değerlendirme olarak, tüm iplik hatalarında relakse oranı arttıkça ve lifler inceldikçe azalma gözlemlenmiştir. Bunun bir nedeni olarak buhar prosesi ile büzüşen liflerin kesiti daha dairesel bir forma gelmesidir (Kim and Shim 2009). Dairesel formdaki liflerde iplik hataları daha az görülmektedir. Farklı bir neden olarak relakse lifler büzüşerek iplik merkezine hareket ederken relakse olmamış lifler iplik yüzeyini sarmaktadır (Najar vd., 2005; Sarıoğlu vd., 2019). Relakse liflerin uçları, iplik merkezine hareket ettiğinden neps ve tüylülük değerleri azalmaktadır. Benzer şekilde iplik merkezindeki relakse liflerini, relakse olmamış lifler kapladığından ipliklerin ince yer ve kalın yer hataları azalmaktadır.

4. Sonuç (Conclusion)

Çalışmanın sonuçları, farklı incelikteki akrilik liflerin relakse/relakse olmamış karışım oranlarının iplik özellikleri üzerindeki etkilerini detaylı bir şekilde ortaya koymaktadır. Elde edilen bulgular, lif inceliği, relakse oranı ve karışım oranlarının kopma mukavemeti, ince yer, kalın yer, neps ve tüylülük gibi önemli iplik özellikleri üzerinde belirgin etkilere sahip olduğunu göstermektedir.

Özellikle, lif inceliği arttıkça kopma mukavemeti ve kopma uzama (%) değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Relakse oranındaki değişikliklerin, özellikle %60 relakse oranına kadar kopma mukavemeti üzerinde azaltıcı etkisi olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, ince yer, kalın yer, neps ve tüylülük gibi iplik hataları üzerinde de lif inceliği ve relakse oranının belirgin bir etkisi olduğu görülmüştür. Tüm iplik hataları genellikle relakse oranı arttıkça ve lifler incelidikçe azalmıştır.

Bu sonuçlar, akrilik liflerin üretiminde lif inceliği ve relakse/relakse olmamış karışım oranlarının dikkatlice kontrol edilmesinin, elde edilen ipliklerin istenilen özelliklere sahip olmasında kritik bir öneme sahip olduğunu vurgulamaktadır. Gelecekteki çalışmalarda, relakse/relakse olmamış karışım oranının kumaşlarda boyanma ve termal konfor özelliklerine etkisinin incelenmesi 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)

- Bakhtiari, M., Najar, S. S., Etrati, S. M., Toosi, K. Z., 2006. Compression properties of weft knitted fabrics consisting of shrinkable and non-shrinkable acrylic fibers. *Fibers and Polymers*, (7) 3, 295-304.
- Canlı, G., Çelik, H. İ., 2018. Pamuk/Akrilik Karışımı İpliklerde Karışım Oranı ve Büküm Katsayısının Örmeye Kumaş Hava Geçirgenliği Performansına Etkilerinin İncelenmesi. 3. Uluslararası Mesleki ve Teknik Bilimler Kongresi, Gaziantep, 502-511.
- Elmogahzy, Y. 2019. Structure and mechanics of yarns. In *Structure and mechanics of textile fibre assemblies* (pp. 1-25). Woodhead Publishing.
- Hamilton, J. B., 1961. High-bulk acrylic yarns and their behaviour in woven fabrics. *Journal of the Textile Institute Proceedings*, 52 (10), 557-574.
- İçoğlu, H. İ., Yıldırım, B., Kılıç, A., Türkoğlu, M., Köş, A. M., Topalbekiroğlu, M. 2023. Controlled fiber deposition via modeling the auxiliary electrodes of the needleless electrospinning to produce continuous nanofiber bundles. *Materials Today Communications*, 34, 104966.
- Ishtiaque, S. M., Behera, B. K., 1991. Exploration Studies on Comparison of Acrylic Based Yarn Manufacture in Different Spinning Systems. *Synthetic Fibres*, 2, 20.
- Kim, S. J., Shim, S. B. 2009. The effect of the processing factors on the physical properties of high shrinkable nylon composite yarns. *Fibers and Polymers*, 10, 813-821.
- Kirecci, A., Özkoç, Ü., İçoğlu, H. İ., 2012. Determination of optimal production parameters for polyacrylonitrile nanofibers. *Journal of applied polymer science*, 124 (6), 4961-4968.
- Najar, S. S., Etrati, S. M., Seyed-Esfahani, M. H., Hadi, H., 2005. The effect of blend ratios of unrelaxed and relaxed acrylic fibres on physical properties of high-bulk worsted yarns. *Journal of the Textile Institute*, 96 (5).
- Oxtoby, E., 1987. *Spun Yarn Technology* Butterworths England.
- Piller, B., 1973. *Bulked Yarns: Production, Processing and Application*, SNTL-Publishers of Technical Literature, Prague.
- Sadeghi-Sadeghabad, M., Tavakoli, M., Alamdar-Yazdi, A., Mashroteh, H., 2015. Coincident Optimization of Specific Volume and Tensile Strength at Acrylic High-Bulked Yarn Using Taguchi Method. *The Journal of The Textile Institute*, 106 (12), 1328-1337.
- Sankara Kuthalam, E., Senthilkumar, P. 2013. Effect of fibre fineness and spinning speed on polyester vortex spun yarn properties. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 5 (101), 35-39.
- Sarıoğlu, E., Gültekin, E., Günaydın, G. K., 2019. Effect of Some Process Parameters on Acrylic Yarns and Knitted Fabrics Made of Those Yarns. *Tekstil ve Mühendis*, 26 (115), 271-280.
- Tiyek İ., Bozdoğan F., 2005. Akrilik Lif Üretiminde Koagülasyon Banyosunun Önemi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi, 11 (3), 319-323.
- Tiyek, İ., Yazıcı, M., Alma, M. H., Dönmez, U., Yıldırım, B., Salan T., Uruş, S., Karataş, Ş., Karteri, İ. 2016. Nanolif Yapılı Poli (Akrilonitril-Vinil Asetat)/Grafen Oksit Yapıların Karakterizasyonu. *Tekstil ve Mühendis*, (23), 102.
- Turgut, E., Değirmenci, Z., Aktaş, M. İ., 2023. Investigation of The Effect of Colour Variation and Pattern Change on Performance and Thermal Properties of Acrylic Knitted Fabrics. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Uluslararası Mühendislik Teknolojileri ve Uygulamalı Bilimler Dergisi*, 6 (1), 14-24.
- Wray, G. R., 1969. *Modern Yarn Production from Man-Made Fibers*. Modern Yarn Production, Columbine Press, Buxton Reprinted.
- Wynne, A., Afenyo, J. N. F. K., Nkulenu, P., Adahjje, B. C., 1997. *Textiles*, Macmillan Education, Oxford, United Kingdom.



SYNTHESIS OF ANTIBACTERIAL PVA-AAM PICKERING EMULSION HYDROGELS (PEHs) FOR MEDICAL APPLICATIONS

Fatma Nur PARIN^{1*}

¹ Bursa Technical University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Polymer Materials
Engineering Bursa, Turkey

Keywords

PVA/AAM Polymer Blend,
Pickering Emulsion
Hydrogels (PEHs),
Medical Applications,
Citronella Essential Oil (CEO),
Antibacterial Efficiency.

Abstract

Citronella essential oil (CEO) has antibacterial characteristics that can be used in medical applications. Polyvinyl alcohol/acrylamide(PVA/AAM) hydrogels including CEO were stabilized utilizing beta-cyclodextrin (β -CD) carbohydrate-based material. In this context, PVA polymer, and AAM monomer were used as matrix (water phase) whereas CEO and (oil phase) and carbohydrate-based β -cyclodextrin (β -CD) were used in the emulsion system as an active agent and an emulsifier, respectively. The β -CD/CEO inclusion complexes were introduced to PVA/AAM hydrogels in different ratios (1:0.25, 1:0.5, and 1:1% w/v), and to obtain Pickering hydrogels by combining UV and freeze-thawing and anneal-swelling methods, respectively. The influence of different β -CD/CEO ratios on the morphological, physical, hydrophilicity and antibacterial efficiency of PVA/AAM was studied, as well. Although the amount of CEO increased, the hydrophilicity of hydrogels increased, while the swelling properties of hydrogels decreased. Moreover, the hydrogel with the highest amount of CEO showed the highest value of antibacterial activity against both *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus* bacteria. The resulting Pickering hydrogels (PEHs) can be a potential use as tissue expander for many medical field.

TIBBİ UYGULAMALAR İÇİN ANTİBAKTERİYAL PVA/PAAM PICKERING EMÜLSİYON HİDROJELLERİNİN (PEH'LER) SENTEZİ

Anahtar Kelimeler

PVA/AAM Polimer Karışımı,
Pickering Emülsiyon
Hidrojeller,
Medikal Uygulamalar,
s-Sitronella Uçucu Yağı
(CEO),
Antibakteriyel Etkinlik.

Öz

Sitronella esansiyel yağı (CEO) tıbbi uygulamalarda kullanılacak antibakteriyel özelliklere sahiptir. CEO içeren polivinil alkol/akrilamid (PVA/AAM) hidrojel karbondioksit bazlı beta-siklodekstrin (β -CD) malzeme ile stabilize edilmiştir. Bu kapsamda, emülsiyon sisteminde sırasıyla matris (su fazı) olarak PVA ve AAM, CEO etken madde (yağ fazı) ve emülgatör olarak karbondioksit bazlı β -siklodekstrin (β -CD) kullanılmıştır. β -CD/CEO inklüzyon kompleksleri, PVA/AAM hidrojellerine sırasıyla farklı oranlarda (1: 0.25, 1:0.5 ve 1: 1 w/v) eklenmiştir ve UV ve donma-çözülme ve tavlama-şişme yöntemlerini birleştirerek Pickering hidrojelleri elde edilmiştir. Farklı β -CD/CEO oranlarının PVA/AAM'nin morfolojik, fiziksel, hidrofilitikliği ve antibakteriyel etkinliği üzerindeki etkisi de incelenmiştir. CEO miktarı artmasına rağmen hidrojellerin hidrofilitikliği artarken hidrojellerin şişme özellikleri azalmıştır. Ayrıca, en yüksek CEO miktarına sahip hidrojel, hem *Escherichia coli* hem de *Staphylococcus aureus* bakterilerine karşı en yüksek antibakteriyel aktivite değerini göstermiştir. Elde edilen Pickering hidrojellerin (PEHs), tıp alanı için doku genişletici olarak potansiyel bir kullanıma olabilmektedir.

Alıntı / Cite

Parin. F. N., (2024). Synthesis of Antibacterial Pva-Aam Pickering Emulsion Hydrogels (PEHs) for Medical Applications, Journal of Engineering Sciences and Design, 12(2), 384-391

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

F.N. Parin,0000-0003-2048-2951

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	15.01.2023
Revizyon Tarihi / Revision Date	28.05.2024
Kabul Tarihi / Accepted Date	03.06.2024
Yayın Tarihi / Published Date	30.06.2024

*İlgili yazar / Corresponding author:nur.parin@btu.edu.tr, +90-224-300-36-11.

SYNTHESIS OF ANTIBACTERIAL PVA-AAM PICKERING EMULSION HYDROGELS (PEHS) FOR MEDICAL APPLICATIONS

Fatma Nur Parın^{1†}

¹Bursa Technical University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Polymer Materials Engineering Bursa, Turkey

Highlights

- Citronella essential oil-loaded PVA/PAAm Pickering emulsion hydrogels were synthesis via UV curing, freeze-thawing, and anneal-swelling.
- β -CD is miscible emulsifier to obtain citronella essential oil-loaded PVA/PAAm hydrogels.
- PAC50, PAC100, and PAC200 hydrogels are suitable to use as a wound dressing for both gram (-) *E.coli*, and gram (+) *S.aureus* bacteria.

Purpose and Scope

In this study, it is aimed to synthesise polymer-based hydrogels using hybrid processes.

Design/methodology/approach

In the present study, new antibacterial PVA/PAAm hydrogels were synthesized by UV crosslinking, freeze-thawing and anneal-swelling methods, respectively.

Findings

The β -CD/CO inclusion complexes were introduced to PVA/AAM hydrogels in different ratios (1:0.25, 1:0.5, and 1:1 % w/v), and the amount of CO increased, the hydrophilicity of hydrogels increased, while the swelling properties of hydrogels decreased. Further, the highest amount of CO showed the highest value of antibacterial activity against both *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus* bacteria.

Originality

In the present study, antibacterial PVA/PAAm hydrogels were synthesized by UV crosslinking and freeze-thawing, and anneal-swelling processes. Apart from the previous studies, antibacterial property of the resulting Pickering emulsion hydrogels were achieved by using bio-based citronella natural oil and hydrophilic-based polymer and monomer PVA and AAM, respectively.

1. Introduction

Oil-in-water (O/W) emulsions are commonly utilized to release of hydrophobic substances in a variety of products such as, tissue engineering, health care, food, and medical applications, as well (Lim et al., 2020; Li et al., 2020). Amphiphilic molecules or emulsifiers (e.g., some proteins and surfactants) generally stabilize the emulsion droplets by reducing the interfacial tension between immiscible phases and increasing steric hindrances or electrostatic repulsion between the dispersed droplets (McClements, 2015). The method called "Pickering emulsion", in which stable emulsions are obtained by using solid particles as emulsifiers, has been the focus of researchers (Hu et al., 2018; Souza et al., 2021). Pickering emulsion has higher emulsification stability than conventional emulsions stabilized by emulgators (Li et al., 2020). In this context, Pickering emulsion hydrogels (PEHs) cover the emulsified oil droplets within their three-dimensional network structure, preventing oil droplet flocculation and coalescence. β -cyclodextrin (β -CD), a carbohydrate derivative, acts as an excellent Aggregation emulsifier with an internal internal conical structure at room conditions. It may form non-covalent host-guest inclusion complexes with a wide range of hydrophobic substance, such as essential oils, due to hydrophobic interior hole of β -CDs (Li et al., 2022).

PEHs are made up of Pickering emulsions and a hydrogel matrix, which have the properties of both an emulsion and a hydrogel (Zheng et al., 2022; In order to use of hydrogels as biomaterials, it is expected that they will have properties such as biocompatibility, the ability to keep the liquid stably in their structure, non-toxic, and not promote the growth of bacteria and fungi (Wang et al., 2019). Generally, acrylates, acrylamide and derivatives and

[†] Corresponding author: nur.parin@btu.edu.tr, +90-224-300-3611

their copolymers are among the monomers that are frequently used in hydrogel synthesis (Begam et al., 2004; He et al., 2016; Bashir et al., 2020; Madduma-Bandarage et al., 2021). In addition to the use of biocompatible monomers for hydrogel synthesis, the use of biomass raw materials to obtain natural building blocks is one of the strategies to reduce our dependence on fossil fuels, reduce greenhouse gas emissions and ultimately reduce our carbon footprint.

Citronella essential oil (CO) has shown antibacterial and antifungal effects in many experimental studies (Lawless et al., 2002; Chaisri et al., 2019; Verma et al., 2020). There are many terpenes in citronella essential oil, such as citronellal, citronellol, geraniol, geraniol acetate (Verma et al., 2009; Verma et al., 2020; Cerceau et al., 2020). In this study, Pickering emulsion hydrogels were cross-linked (synthesized) with UV and then prepared by freeze-thawing and anneal-swelling. The effects of varying β -CD/citronella complex ratios on the morphological, physical properties, and antibacterial activities in the resulting hydrogel were evaluated.

2. Materials and Method

2.1. Materials

Polyvinyl alcohol (PVA) granules (30.000 M_w, Zag Chemical Company) from Istanbul, Turkey and citronella essential oil (>95% purity) were purchased from Monoville Aromatherapy, Turkey. Acrylamide (AAm) and β -cyclodextrin (β -CD) was kindly granted by Veskim Chemical Company (Turkey) and Wacker Chemical Company, Germany, respectively. 2,2-Dimethoxy-2-phenylacetophenone (99%) and *N,N'*-Methylenebis(acrylamide) (MBAm) (>99.5%) were supplied by Sigma-Aldrich (Germany). In all experiments, distilled water was used.

2.2. Preparation of PVA-based Hydrogels

A homogeneous 10% (w/v) PVA solution was prepared. 4 mL of PVA solution was taken into a sealed glass jar and 0.8 g of AAm and 0.08 g of MBAAm (crosslinker) were added into the PVA solution. The polymer solution was mixed homogeneously at 25 °C for overnight. A certain amount of β -cyclodextrin (β -CD) was mixed with PVA/AAm solution. Before adding citronella essential oil, photocrosslinker is mixed with polymer solution. Different amounts of citronella were put drop by drop into the polymer solution and thus Pickering emulsions were formed. Pickering emulsions with different citronella ratios were sonicated in ultrasonic homogenizer by applying 60% power for 3 min. Then, these emulsions are UV-cured for 50 min to obtain hydrogel form. Afterwards, the hydrogels with different β -CD/citronella ratios were frozen at -20 °C for 18 h, and 6 h of thawing procedure was carried out at 30 °C for two cycles. Therefore, freeze-thawed (FT) hydrogels were prepared. To obtain anneal-swelled hydrogels were produced by drying completely at 80 °C for 2 h and annealing at 120 °C for 1 h. Consequently, these hydrogels were soaked up in distilled water at 25 °C until reached a constant weight.

PVA/AAm hydrogels were synthesized by the same procedure (without the addition of citronella and (β -CD)), as a control sample. PAC0, PAC50, PAC100, and PAC200 were coded to hydrogels containing 0, 50, 100, and 200 μ L citronella essential oil, respectively.

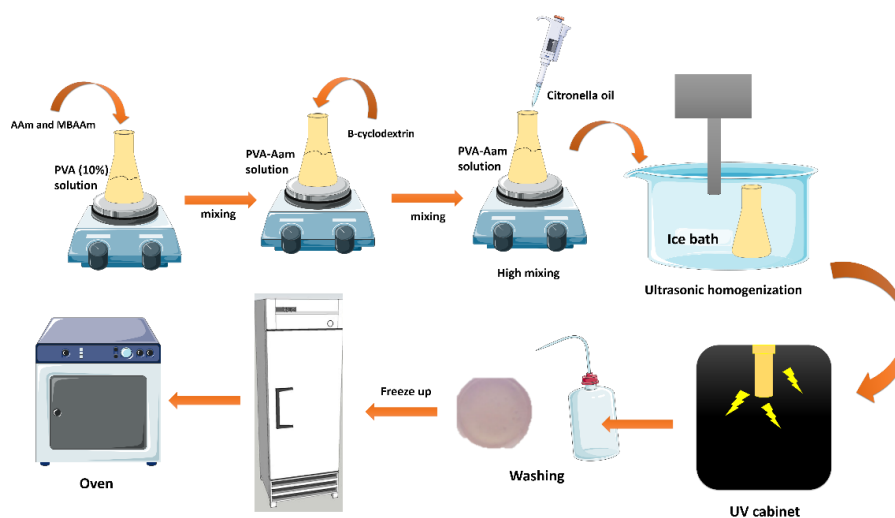


Figure 1. Schematic sketch of Pickering hydrogels.

2.3. Characterization of the Hydrogels

Morphological Analysis of Pickering Emulsions

The morphology of neat polymer (PVA/AAm hydrogel) solution and Pickering emulsions were visualized optical microscope (Leica-M125) with 10X magnification.

Morphological Analysis of Hydrogels

The microstructure of the hydrogel was performed by Scanning Electron Microscope (SEM). SEM micrographs were taken at different magnifications.

Spectroscopic Analysis

FT-IR spectroscopy was used to identify the molecular structure of the hydrogels.

Wettability Test

The wettability of the resulting hydrogels was tested using an optical tensiometer (Biolin Scientific, Gothenburg, Sweden), with 3 μ L distilled water. Three replications were carried out for each sample.

Antibacterial Analysis

The standard bacterial strains *Staphylococcus aureus* ATCC® 25923 and *Escherichia coli* ATCC® 25922 were used as positive controls in the study. Bacterial cultures were grown on the solid media. Petri dishes were incubated at 37°C for overnight in an aerobic environment. The density of became stable (Yahya and Abdulsamad, 2020). The broth suspensions with bacterial colonies were transferred with a 100 l pipette and streaked on the surface of Mueller Hinton Agar at 0.5 McFarland (1108 cfu/mL) turbidity standard.

Hydrogels were placed onto the agar surface. The petri dishes were then incubated for overnight at 37 °C in an aerobic environment. Finally, the diameters of the inhibition zones around any hydrogel disc were measured qualitatively with a calliper (CLSI, 2017).

Swelling Behaviour

Swelling ratios (SR) of all samples were calculated as follows. First, a completely dried hydrogels was immersed in distilled water at room temperature. The hydrogels were wiped out and weighed at periodic intervals. The swelling ratio was calculated using the equation below (Zhang et al., 2020) (Equation 1).

$$SR (\%) = \frac{W_s - W_d}{W_d} \times 100 \quad (1)$$

3. Results and discussions

3.1. Optical Images of Hydrogel Solutions

As presented in Figure 2, citronella droplets with lower than 5 μ m were successfully stabilized in a β -CD polymer emulsions. Citronella droplets were reported to be uniformly distributed in PVA/AAm polyblend solutions. The increase in oil concentration increased the distance between the oil droplets (Figure 2D). Especially, oil droplets agglomerated some region in the solution. Neat PVA/AAm polyblend solution showed some bubbles due to the stirring process.

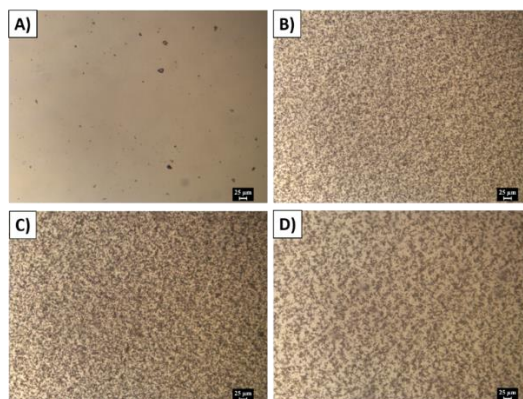


Figure 2. Optical microscobic images of polyblend solutions (A) (PAC0), (B) PAC50, (C) PAC100, (D) PAC200 hydrogels, respectively (Magnification : 5X, scale: 25 μ m).

3.2. SEM Analysis of Hydrogels

Figure 3 shows microstructure of neat PVA/AAm hydrogel and Pickering emulsion hydrogels. The difference was noticed in both cross-sectional and surface images of the Pickering hydrogels obtained by introducing oil to the polyblend solutions. The particle size distribution of PAC200 samples was found to be uniform with spherical morphology (Figure 3B). The self-agglomeration of β -cyclodextrin particles at the oil-water interface results during Pickering emulsion formation. The result agreed well with literature (Li et al., 2020).

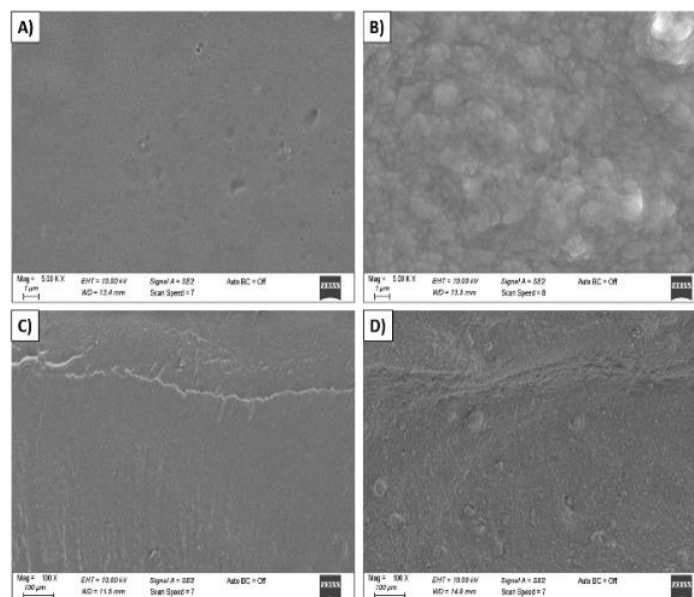


Figure 3. SEM surface micrographs of hydrogels (A) PAC0, (B) PAC200 (Magnification: 5 kX, scale: 1 μ m). SEM cross-sectional micrographs of hydrogels (C) PAC0, (D) PAC200 hydrogels, respectively (Magnification: 100 X, scale: 100 μ m).

3.3. FT-IR Analysis

FT-IR was used to examine the chemical structure of the neat PVA/AAm hydrogels and Pickering emulsion hydrogels (Figure 4). The strong absorption peaks have been seen at 3180-3335 cm^{-1} , 2852-2935 cm^{-1} , 1598-1650 cm^{-1} , 1416 cm^{-1} and 1095 cm^{-1} which correspond to (-OH) and (-NH) stretching, asymmetric and symmetric (-CH₂) stretching, (-C=O) stretching, C-N stretching) (Blum et al., 2012; Ou et al., 2017; Khoerunnisa et al., 2021). These peaks shows both characteristic peaks of PVA and AAm, individually, and proof of chemical interaction between PVA and AAm.

Citronella essential oil had a vibration peak of 2914 cm^{-1} , indicating C-H bonding (Ramanayaka et al., 2019). The peaks at distinct peaks at 1725 and 1670 cm^{-1} , which might be related to stretching vibrations of aldo, keto, estero, or acido (C = O) groups.

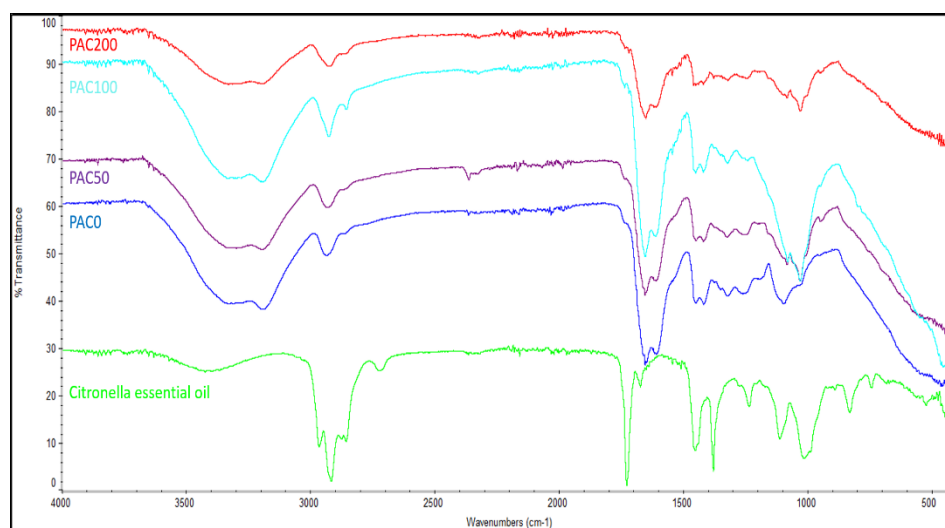


Figure 4. FT-IR analysis of hydrogels and citronella essential oil.

It has been determined that these peaks may be due to the major components of citronella essential oil (geraniol and citranellal) (Basak et al., 2021). The peaks at 1028 cm^{-1} is related to (-OH bending) owing to the characteristic peak of the citronella. Some changes in the FT-IR spectrum were observed after the addition of β -CD/citronella essential oil inclusion complexes to PVA/AAm solutions.

3.4. Wettability Test

The wettability of a hydrogel surface is affected by its chemical and geometrical structure. Moreover, the curing time can be influence of the contact angle values, as well due to the fact that uncured regions of hydrogels' surface may remain. Figure 5A shows that the contact angle θ of PVA/AAm is around 82.2° . The wettability of colloidal particles is closely associated with the stability of Pickering emulsion stabilized by particles. Therefore, synthesis of the Pickering emulsion hydrogels resulted in a general decrease in contact angle value. This clearly shows that the particles are hydrophilic, with the majority of the particles existing in the aqueous phase to form an oil-in-water emulsion (Li et al., 2020).

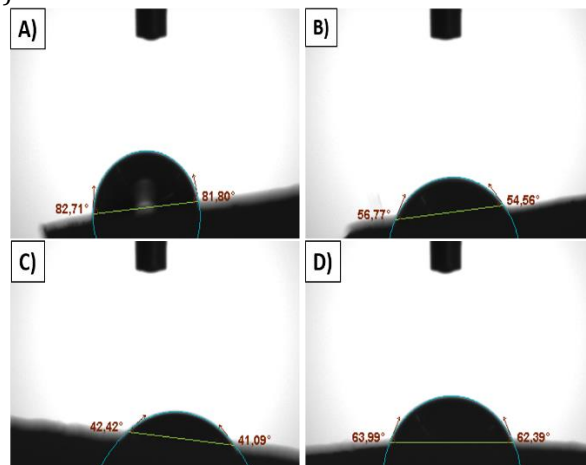


Figure 5. Contact angle images of the (A) PAC0, (B) PAC50, (C) PAC100, and (D) PAC200 hydrogels, respectively.

3.5. Antibacterial Activity

The antibacterial efficiency was determined against gram negative (*E.coli*) and gram positive (*S. aureus*) bacteria using disk diffusion method was applied to all samples. Terpenes show strong biological activities as antibacterial and antiviral agents (Zi et al., 2014) and have important areas of application such as chemicals, flavors, fragrances (Farhat et al. 2019). There are many terpenes in citronella oil, such as citronellal, citronellol, geraniol, geraniol acetate. Several studies have been performed to evaluate the antifungal and antimicrobial properties of citronella essential oil (Wei and Wee, 2013). According to Billerbeck et al. (2001), citronella essential oil of at 400 mg/L dosage could inhibit 80% of *Aspergillus niger* growth. Verma et al. (2020) reported inhibition of test bacteria with a minimum inhibitory concentration (MIC) of essential oil in the range of $250\text{-}1000\text{ }\mu\text{g /mL}$. It was also observed that the citronella oil was moderately active against Gram-positive and Gram-negative bacterial strains, and also showed good activity against *Candida* strains.

In the current study, all Pickering emulsion hydrogels showed antibacterial activity against *E.coli* and *S. aureus* bacteria. Further, PAC200 sample has the highest antibacterial activity (against *E.coli*) with 14 mm zone inhibition (Figure 6). Pure hydrogels did not show any antibacterial activity as expected.

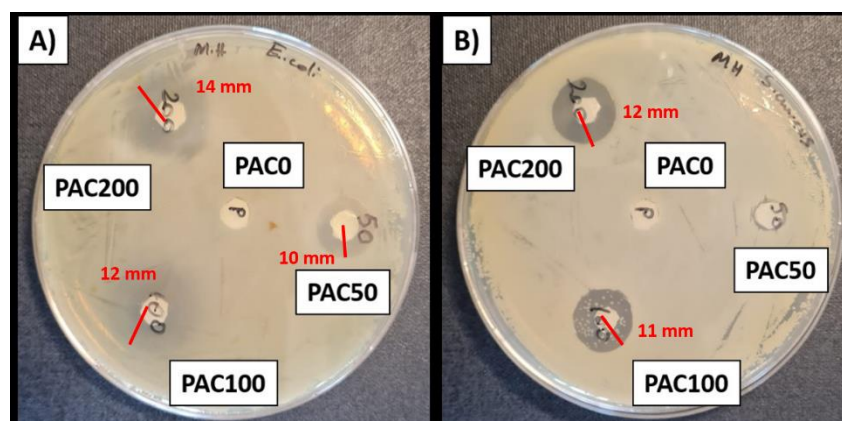


Figure 6. Antibacterial activity of the hydrogels against (A) *E.coli* and (B) *S. aureus* bacteria.

3.6. Swelling Behaviour

The swelling ratio findings are shown in Figure 7, and the curves for the hydrogels of pure sample PAC0, and Pickering emulsion hydrogels PAC50, PAC100, PAC200 samples had a similar trend: slight swelling followed by slight shrinking: a dramatic increase in swelling ratios was observed in the first 6 hours. After the 24 h, the swelling ratios of the all hydrogels, PAC0, PAC50, PAC100 and PAC200 samples, approximately 172%, 133%, 135%, and 112%, respectively. Generally, the increase in the amount of essential oil reduced the degree of swelling. The swelling values of PAC50 and PAC100 samples are too close to each other at certain time. This is related to the fact that the increase in the amount of essential oil in the emulsion prevents the water absorbance capacity of the hydrogel.

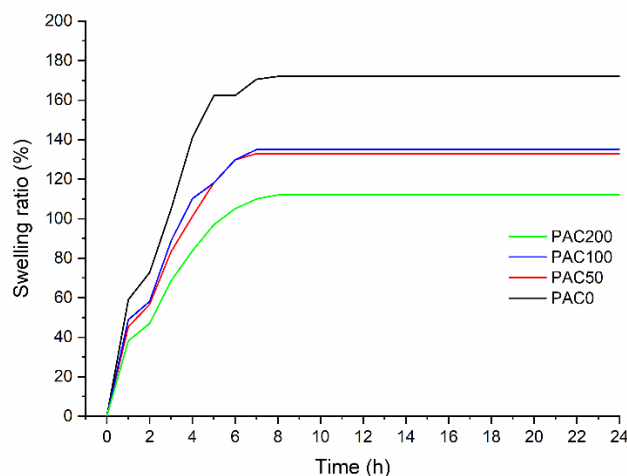


Figure 7. Swelling ratios of all hydrogels in distilled water.

4. Conclusion

In this study, new method was successfully developed to synthesis of emulsion-based hydrogel. In this regard, PVA/AAM hydrogels with citronella essential oil were synthesis via combine 3 system including photopolymerization Pickering emulsions, freeze-thawing and anneal-swelling methods, respectively. The formation of Pickering emulsions was confirmed by optical images. The SEM analysis revealed that adding β -CD/citronella essential oil in polyblend solution, form spherical structures on the hydrogel surfaces. Physical interaction between polymer matrices and β -CD/citronella essential oil inclusion complexes was recorded to FT-IR spectrum. Moreover, contact angle decreased as formation of Pickering emulsion hydrogels based on wettability test. On the other hand, in contrast to the surface analysis, swelling ratio values decreased as expected with the formation of emulsion hydrogels (with an increase in oil concentration). Antibacterial efficiency test showed that the obtained Pickering emulsion hydrogels have good antibacterial activity against both Gram (-) and Gram (+) bacteria.

Acknowledgements

The author gratefully acknowledge Dr. Uğur PARIN for the antibacterial analysis. The author thanks to acknowledge Ayca ALTUN and Bursa Technical University Chemical Engineering Department for her kind help in the contact angle measurements.

References

- A. G. de Souza, J. de Souza Marciano, R. R. Ferreira, E. R. de Oliveira & D. dos Santos Rosa, (2021). Researchsquare.
- Antolova T, Zaruba S, Sandrejova J, Kocurova L, Vishnikin AB et al. Spectrophotometric determination of mercury using vortex-assisted liquid-liquid microextraction. *Turkish Journal of Chemistry* 2016; 40 (6): 965-973.
- Ataman S. Determination of thallium by volatile compound generation atomic absorption spectrometry. MSc, Middle East Technical University, Ankara, Turkey, 2011.
- Basak, S., Saxena, S., Raja, A. S. M., Patil, P. G., Krishnaprasad, G., Narkar, R., & Kambli, N. (2021). Development of cotton fibre based fragrance pack and its characterization. *Cellulose*, 28(11), 7185-7200.
- Bashir, S., Hina, M., Iqbal, J., Rajpar, A. H., Mujtaba, M. A., Alghamdi, N. A., ... & Ramesh, S. (2020). Fundamental concepts of hydrogels: Synthesis, properties, and their applications. *Polymers*, 12(11), 2702.
- Begam, T., Nagpal, A. K., & Singhal, R. (2004). A study on copolymeric hydrogels based on acrylamide-methacrylate and its modified vinyl-amine-containing derivative. *Designed monomers and polymers*, 7(4), 311-330.
- Blum, M. M., & Ovaert, T. C. (2012). A novel polyvinyl alcohol hydrogel functionalized with organic boundary lubricant for use as low-friction cartilage substitute: synthesis, physical/chemical, mechanical, and friction characterization. *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials*, 100(7), 1755-1763.

- De Billerbeck, V. G., Roques, C. G., Bessière, J. M., Fonvieille, J. L., & Dargent, R. (2001). Effects of *Cymbopogon nardus* (L.) W. Watson essential oil on the growth and morphogenesis of *Aspergillus niger*. *Canadian journal of microbiology*, 47(1), 9-17.
- Dursun S, Özdemir ZÖ. Biogas production from waste using with anaerobic bacteria. *Kimya ve Sanayi Dergisi* 2016; 2 (6): 7-22.
- Farhat, W., Stamm, A., Robert-Monpate, M., Biundo, A., & Syrn, P. O. (2019). Biocatalysis for terpene-based polymers. *Zeitschrift für Naturforschung C*, 74(3-4), 91-100.
- He, S., Zhang, F., Cheng, S., & Wang, W. (2016). Synthesis of sodium acrylate and acrylamide copolymer/GO hydrogels and their effective adsorption for Pb²⁺ and Cd²⁺. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 4(7), 3948-3959.
- Hu, J. W., Yen, M. W., Wang, A. J., & Chu, I. M. (2018). Effect of oil structure on cyclodextrin-based Pickering emulsions for bupivacaine topical application. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 161, 51-58.
- Khoerunnisa, F., Nurhayati, M., Hiqmah, R. N., Hendrawan, H., Dara, F., Aziz, H. A., ... & Nasir, M. (2021, June). Effect of pH, temperature, and electrolytes on swelling and release behaviors of PVA/AAm/GO based hydrogel composites. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2349, No. 1, p. 020025). AIP Publishing LLC.
- Li Y, Fennell DE, Huang W. Transformation of aniline and 4-chloroaniline in sediments from an industrial site. In: *ACS Division of Environmental Chemistry Meeting 236*; Philadelphia, PA, USA; 2008. pp. 534-537.
- Li, Z., Zheng, S., Zhao, C., Liu, M., Zhang, Z., Xu, W., ... & Shah, B. R. (2020). Stability, microstructural and rheological properties of Pickering emulsion stabilized by xanthan gum/lysozyme nanoparticles coupled with xanthan gum. *International Journal of Biological Macromolecules*, 165, 2387-2394.
- Lim, H. P., Ho, K. W., Singh, C. K. S., Ooi, C. W., Tey, B. T., & Chan, E. S. (2020). Pickering emulsion hydrogel as a promising food delivery system: Synergistic effects of chitosan Pickering emulsifier and alginate matrix on hydrogel stability and emulsion delivery. *Food Hydrocolloids*, 103, 105659.
- Madduma-Bandarage, U. S., & Madihally, S. V. (2021). Synthetic hydrogels: Synthesis, novel trends, and applications. *Journal of Applied Polymer Science*, 138(19), 50376.
- McClements, D. J. (2015). Emulsion stability. In *Food emulsions* (pp. 314-407). CRC Press.
- Ou, K., Dong, X., Qin, C., Ji, X., & He, J. (2017). Properties and toughening mechanisms of PVA/PAM double-network hydrogels prepared by freeze-thawing and anneal-swelling. *Materials Science and Engineering: C*, 77, 1017-1026.
- Pozharskii AF, Soldatenkov AT, Katritzky AR. *Heterocycles in Life and Society*. Chichester, UK: Wiley, 1997.
- Ramanayaka, S., Hulangamuwa, A., Adassooriya, N. M., & Vithanage, W. M. (2019). Mechanochemical Synthesis of citronella Oil Encapsulated Montmorillonite Nanocomposite as a Mosquito Repelling Agent.
- Uygun Y, Bayrak H, Özkan H. Synthesis and biological activities of methylenebis-4H-1,2,4-triazole derivatives. *Turkish Journal of Chemistry* 2013; 37 (5): 812-823.
- Wang, Z., Wang, R., Xu, P., Yu, J., Liu, L., & Fan, Y. (2019). Physical nanochitin/microemulsion composite hydrogels for hydrophobic Nile Red release under in vitro physiological conditions. *Cellulose*, 26(2), 1221-1230.
- Wei, L. S., & Wee, W. (2013). Chemical composition and antimicrobial activity of *Cymbopogon nardus* citronella essential oil against systemic bacteria of aquatic animals. *Iranian journal of microbiology*, 5(2), 147.
- Yahya, E., & Abdulsamad, M. A. (2020). In-vitro Antibacterial Activity of Carbopol-Essential Oils hydrogels. *Journal of Applied Science & Process Engineering*, 7(2), 564-571.
- Zhang, K., Feng, W., & Jin, C. (2020). Protocol efficiently measuring the swelling rate of hydrogels. *MethodsX*, 7, 100779.
- Zheng, W., Zhang, H., Wang, J., Wang, J., Yan, L., Liu, C., & Zheng, L. (2022). Pickering emulsion hydrogel based on alginate-gellan gum with carboxymethyl chitosan as a pH-responsive controlled release delivery system. *International Journal of Biological Macromolecules*, 216, 850-859.
- Zi, J., Mafu, S., & Peters, R. J. (2014). To gibberellins and beyond! Surveying the evolution of (di) terpenoid metabolism. *Annual review of plant biology*, 65, 259.



OTTOMAN CHARACTER RECOGNITION ON PRINTED DOCUMENTS USING DEEP LEARNING

Ali Alper DEMİR^{1*}, Ufuk ÖZKAYA¹

¹ Suleyman Demirel University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Electrical and Electronics Engineering, Isparta, Turkey

Keywords

*Ottoman Documents,
Character Recognition,
Document Analysis,
Deep Learning,
Ottoman Turkish.*

Abstract

In this study, a deep learning-based method is developed for character detection and recognition in printed Ottoman documents. The character detection and recognition problem are considered as an object detection problem and for this purpose, an Ottoman character recognition model is developed based on the YOLO model, which is one of the most successful methods in object detection. In addition, in this study, a dataset consisting of Ottoman document images is created in which each character in the document images is marked. Data augmentation techniques are applied to improve the accuracy of character recognition and the robustness of the method. The Ottoman character recognition network was then trained using this dataset. The trained network model was tested with the test images in the dataset. The performance evaluation of the model was performed by calculating the average precision metric, which is frequently used in the literature. The average precision value was calculated for 34 character classes in the dataset and the results were interpreted in terms of the pros and cons of the method. The results show that the proposed method can detect and recognize characters in printed Ottoman documents with great accuracy, with a weighted average precision of 98.71%.

DERİN ÖĞRENME KULLANARAK MATBU DOKÜMANLARDAKİ OSMANLICA KARAKTERLERİN TANINMASI

Anahtar Kelimeler

*Osmanlıca Dokümanlar,
Karakter Tanıma,
Doküman Analizi,
Derin Öğrenme,
Osmanlı Türkçesi.*

Öz

Bu çalışmada matbu Osmanlıca dokümanlardaki karakterlerin tespiti ve tanınmasına yönelik derin öğrenme tabanlı bir yöntem geliştirilmiştir. Karakter tespit ve tanıma problemi bir nesne tespit problemi olarak ele alınmış ve bu amaçla nesne tespitinde en başarılı yöntemlerden biri olan YOLO modeli temel alınarak Osmanlıca karakter tanıma modeli geliştirilmiştir. Ayrıca bu çalışmada, Osmanlıca doküman imgelerinden oluşan ve doküman imgelerindeki her bir karakterin işaretlendiği bir veri kümesi oluşturulmuştur. Karakter tanıma doğruluğunun artırılması ve yöntemin gürbüzlüğünün sağlanması için veri çoğaltma teknikleri uygulanmıştır. Daha sonra bu veri kümesi kullanılarak Osmanlıca karakter tanıma ağı eğitilmiştir. Eğitilen ağ modeli veri kümesindeki test imgeleri ile test edilmiştir. Modelin performans değerlendirilmesi, literatürde sıklıkla kullanılan ortalama kesinlik metriği hesaplanarak yapılmıştır. Veri kümesindeki 34 karakter sınıfı için ortalama kesinlik değeri hesaplanmış ve sonuçlar yöntemin artı ve eksileri açısından yorumlanmıştır. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, önerilen yöntemin matbu Osmanlıca belgelerdeki karakterleri büyük bir doğrulukla, %98,71 ağırlıklı ortalama kesinlik değeri ile, tespit edip tanıyabildiği görülmüştür.

Alıntı / Cite

Demir, A. A., Özkaya, U., (2024). Ottoman Character Recognition on Printed Documents Using Deep Learning, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 12(2), 392-402.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

A. A. Demir, 0000-0001-5250-0590
U. Özkaya, 0000-0002-3520-1975

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	31.10.2023
Revizyon Tarihi / Revision Date	09.05.2024
Kabul Tarihi / Accepted Date	05.06.2024
Yayın Tarihi / Published Date	30.06.2024

* İlgili yazar / Corresponding author: alidemir@sdu.edu.tr, +90-246-211-1747

OTTOMAN CHARACTER RECOGNITION ON PRINTED DOCUMENTS USING DEEP LEARNING

Ali Alper DEMİR^{1†}, Ufuk ÖZKAYA¹

¹Suleyman Demirel University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Electrical and Electronics Engineering, Isparta, Turkey

Highlights

- The proposed deep learning-based approach in this study is a powerful method for detecting and recognizing characters in printed Ottoman documents, achieving a weighted average precision score of 98.71%, underlining the potential for more effective use of historical Ottoman documents.
- In particular, the recognition accuracy for low-frequency characters added to the Ottoman alphabet from Persian and Arabic is lower than for other characters, and to solve this problem, it is suggested to retrain the model by increasing the number of characters with few samples.
- The method produces successful results on printed documents, in addition to this, in future studies the proposed method can be extended to Ottoman manuscript documents, can be converted into a word detection tool, and can be used as a character recognition stage in automatic transcription studies from Ottoman to Turkish.

Purpose and Scope

The main objective of this paper is to develop a method for the accurate detection and recognition of characters on printed Ottoman documents. This is important because Ottoman documents often contain historical and cultural information, and automating the process of character recognition can make these documents more accessible and usable.

Design/methodology/approach

The objectives were achieved by creating a labeled dataset of Ottoman document images, developing a YOLO-based deep learning model for recognizing Ottoman characters on printed documents and utilizing data augmentation to increase detection and recognition accuracy.

Findings

The paper indicates that the deep learning-based Ottoman character detection and recognition model developed achieved high accuracy in detecting and recognizing characters in printed Ottoman documents, with a weighted average precision of 98.71%. The article also considers areas for further development, practical applications, and avenues for future research, such as tackling difficulties linked to specific characters, expanding the model to manage manuscript documents, and transforming it into a word-spotting tool and an automated transcription system from Ottoman into Turkish.

Research limitations/implications

Suggestions for future research include improving the manuscript dataset, extending the model's character detection and recognition capabilities to Ottoman manuscript documents, improving the model's performance when it generates multiple predictions for certain characters, and transforming the method into a word detection tool for keyword-based searches. The recognition success of some characters with low frequency of use in the Ottoman alphabet from Arabic and Persian is low, but it is thought that this problem can be solved by retraining the model with more data for these characters.

Social Implications

This study can speed up the research on printed Ottoman documents and ensure their effective use.

Originality

In this paper, a new dataset for character detection and recognition in printed Ottoman documents is created and a deep learning-based model is developed using this dataset.

[†] Corresponding author: alidemir@sdu.edu.tr, +90-246-211-1747

1. Introduction

The Ottoman Empire existed for more than 6 centuries and influenced many parts of the world during its existence, leaving behind millions of archival documents from all fields that attracted the attention of researchers and historians from many countries. Since documents become worn and irritated over time, they are scanned and stored digitally. Some of the documents in the archives are handwritten and some are printed documents. To speed up the research being carried out by scientists, researchers, and historians from many parts of the world, these documents need to be processed by computers and researchers need to be able to benefit from them quickly. It is a time-consuming process for researchers to manually search for the keywords related to the subject they are interested in, in which document, and on which page, among millions of archival documents. Spotting the keywords from the documents in the archives will speed up the research considerably. Furthermore, translating Ottoman documents into other languages will make them accessible to more people who cannot read Ottoman, thus increasing the usage of the archives. Although using image processing and artificial intelligence methods have improved the understanding of Ottoman documents to some extent, there are still many unsolved issues. Overall, there has not been enough advancement to effectively exploit these documents. Especially the studies in the literature on the computer readability of manuscript Ottoman documents are insufficient. In the literature, studies have generally been carried out on computer reading of Ottoman printed documents in naskh font.

To overcome the Ottoman character recognition problem, several learning-based methods have been proposed. Since there are no common datasets prepared and published for this problem, the authors have mostly implemented methods to their hand-crafted datasets. Also, they created and used synthetic data as well as real data to train the proposed models. In the early studies presented in the literature to solve the Ottoman character recognition problem, methods such as artificial neural network (Öztürk et al., 2000; Gorgel et al., 2009), hidden Markov model (Onat et al., 2006), linear discriminant analysis (Kurt et al., 2007; Kurt et al., 2009), support vector machines (Kilic et al., 2008) and a graph-based system (Yalniz et al., 2009) were used.

Nowadays, with the increasing amount of data and computer processing power, deep learning and machine learning-based studies have begun to be applied to Ottoman documents. Bilgin Taşdemir (2023), conducted a study on deep learning-based character recognition in printed documents in Ottoman Turkish naskh font. A synthetic dataset was created, and these data were augmented with data augmentation techniques to train a hybrid model consisting of a convolutional neural network and bidirectional long short-term memory. The model was then adapted to real data by applying transfer learning. Similarly, in a different study, a web-based OCR system was introduced for Ottoman printed documents written in naskh font (Dölek and Kurt, 2023). In this system, CNN and RNN-based deep neural network models were used. Three different datasets were created for training the model: original, synthetic, and hybrid, and the trained model was tested with 21 Ottoman document images and compared with OCR tools available in the literature. Altun (2022) discussed previous attempts to use OCR technology on Ottoman documents and the challenges encountered, as well as potential solutions. The existing studies have been successful in recognizing only printed naskh font within document images. Doğru (2016), used an open-source optical character recognition platform (Tesseract, 2023) to recognize Ottoman characters. In the study by Küçükşahin (2019), two convolutional neural networks of different complexity were trained with the generated printed character dataset, and the relationship between recognition rates and network complexity was evaluated. Mondal et al., (2022), used the YOLO (You Only Look Once) v3 model, one of the object detection algorithms, to train an English word recognition model with only 1200-word images, in fact with a small number of training data. Majid and Smith (2019) used the Faster R-CNN algorithm, another object detection algorithm, for Bangla word recognition.

In most cases, a large amount of data is required to successfully train deep learning-based methods for character recognition. As far as we know, the only Ottoman character dataset available in the literature, (Uzun and Özer, 2022), contains relatively few character data. In this Ottoman character dataset, there are only 3894 characters in total, 1371 as Talik font, 411 as Rika font, 1974 characters as printed font, and 138 mixed characters. The character images in the dataset are in binary form. The lack of data quantity is a problem in the training of a deep learning-based character recognition model. In addition, this dataset cannot be used directly for character detection, it can only be used for applications such as character classification and character recognition. Therefore, a comprehensive dataset is needed for training the deep learning model to be developed for character recognition in Ottoman documents. Therefore, in this study, a dataset for character recognition and detection in Ottoman Turkish is created. In addition, an Ottoman character recognition network model is trained on this dataset and the character detection and recognition success of the model is tested.

2. Material and Method

2.1. Dataset

In order to create the data set, the book named “Osmanlı Türkçesi Kolay Okuma Metinleri – 1” (Uçar, 2021) was scanned and the raw data set was obtained as consisting of document images. Then, smaller images that have various dimensions were cropped from these document images. The characters in the cropped images were selected using the MATLAB Image Labeler and appropriate labels were assigned to the selected letters. In this data set, the number of label classes, which is the number of letters in the Ottoman alphabet, is determined as 34, including the letter λ lamelif. The plain forms of the characters in the dataset are shown in Figure 1.

چ	ج	ث	ت	پ	ب	ا
Çe	Cim	Se	Te	Pe	Be	Elif
ژ	ز	ر	ذ	د	خ	ح
Je	Ze	Ra	Zel	Dal	Hı	Ha
ع	ظ	ط	ض	ص	ش	س
Ayin	Zı	Tı	Dat	Sad	Şın	Sin
ل	ڭ	گ	ك	ق	ف	غ
Lam	Nef	Gef	Kef	Kaf	Fe	Gayın
		ی	ه	و	ن	م
		Ye	He	Vav	Nun	Mim

Figure 1. Images of the letters in the Ottoman character dataset (Uçar, 2021)

These writing styles of letters undergo significant changes in the text. The letterforms shown above are only preserved if they are the final sound in the word after some letters. In Ottoman Turkish, letters are written from right to left, and some letters do not combine with the next letter but are in plain form. Some letters are written together with the letter that comes before and after them, and their simple form also changes. There are differences between the way letters are written at the beginning, middle, and end. There are many rules about how letters will be written when they are combined with other letters (Tulum, 2014). In the created dataset, there are many examples of the shape changes of the letters (Figure 2).

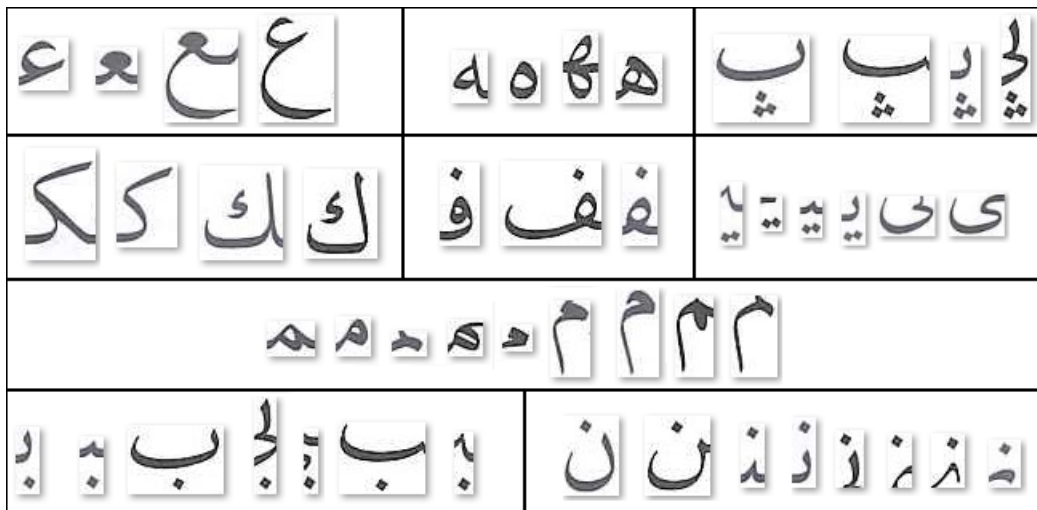


Figure 2. Examples of shape changes for some characters in the dataset

To create the dataset, 38 document pages were selected from the scanned “Kolay Okuma Metinleri-1” (Uçar, 2021) book. The selected document pages are saved as images. Then, from these 38 document images, image fragments with smaller dimensions were cut and saved. Thus, a total of 125 document images were obtained by cropping 38 document images. The original document image page is given on the left in Figure 2, and the document images that

were cropped from this page are given on the right. 125 cropped images were imported to the MATLAB Image Labeler application. Label classes were created for each character class and all the characters in the document were labelled. For this, firstly, the character label is selected from the menu on the left, and then the bounding box surrounding the relevant character is drawn. The visual representation of the labeling process of the characters is given in Figure 3.

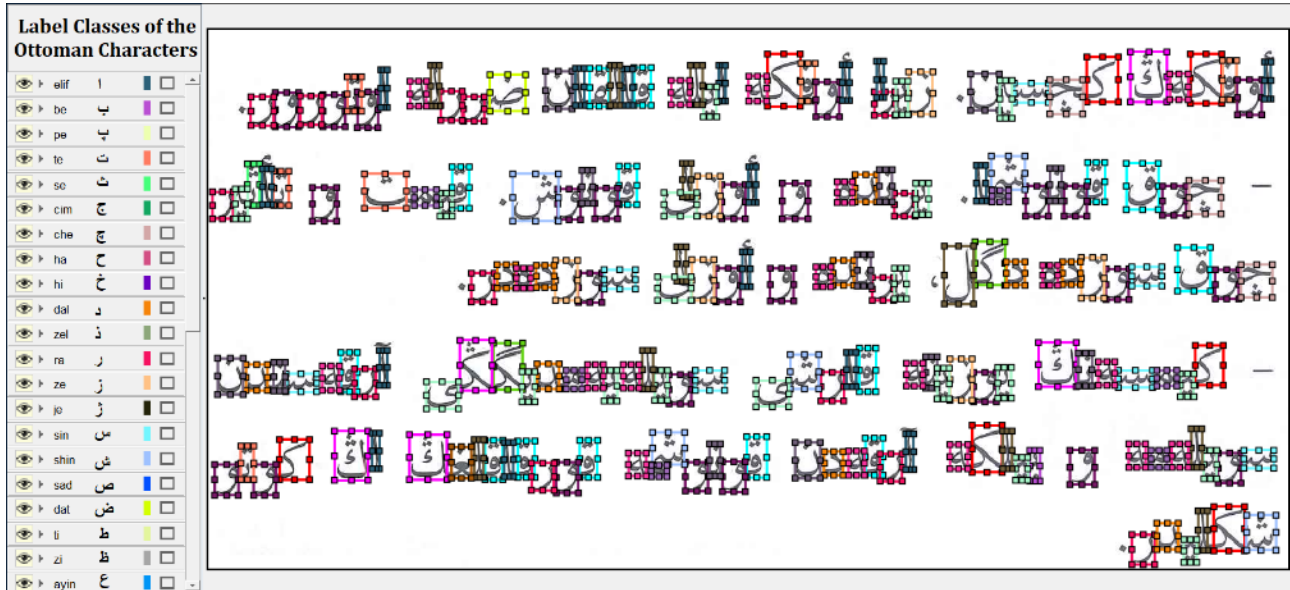


Figure 3. The process of labeling the characters

The labeling process was completed for 125 images and 34 different characters, and ground truth data including bounding boxes and label information was created. The bounding box information includes the x and y coordinates of the character's upper left corner point, as well as the lengths in the x and y directions. The total number of labeled characters in the dataset is 22,180. The number of characters in the dataset with an unbalanced distribution in terms of ratio is given in Table 1. The letters ث se, ذ zel, ض dad, and ز ze in the Ottoman alphabet were added from Arabic, while the letters ج je, پ pe and چ ce were added from Persian. Therefore, the frequency of use of these letters in Ottoman is not as high as others. This can be seen in the number of characters in the dataset in Table 1.

Table 1. Number of the characters in the dataset

ا elif	ب be	پ pe	ت te	ث se	ج cim	چ ce
2469	821	142	605	9	295	263
ح ha	خ hi	د dal	ذ zel	ر ra	ز ze	ژ je
141	92	1248	18	1753	340	4
س sin	ش şin	ص sad	ض dad	ط ti	ظ zi	ع ayın
579	469	171	23	146	20	143
غ gayın	ف fe	ق kaf	ك kef	گ gef	ڭ nef	ل lam
192	159	655	790	140	415	1231
م mim	ن nun	و vav	ه he	ی ye	لا lamelif	Total
985	1540	1798	1312	3032	180	22.180

2.2. Deep Learning-based Ottoman Character Recognition Method

In this study, character detection and recognition problems are considered as an object detection problem. In this respect, each character is treated as an object and the location of the characters in the document images and the character class to which they belong are estimated. In order to detect and recognize the Ottoman characters, a character recognition network (CRN) is trained based on the YOLOv4 (Bochkovskiy et al., 2020) model, which produces successful results in object detection in the literature.

In the object detection task, besides determining the class of the object in the given image, the location of the object is also estimated. Gkioxari et al. (2014), the R-CNN model, which finds objects in the image and predicts their positions, has been proposed. In the R-CNN model, the image is divided into many regions, and a convolutional neural network is applied to each region. Therefore, the training process of the network and the prediction time of the trained network are quite time-consuming. Therefore, such models cannot be used in real-time object

detection. Girshick (2015), accelerated the R-CNN model and increased its success rate and published the model as Fast R-CNN. Ren et al. (2015), improved the previous models and developed the Faster R-CNN model. However, these methods cannot detect real-time objects. All three models are slow to train, training takes place in multiple stages (zone recommendation, classification), and the detection of objects is slow. Afterward, methods such as YOLO (Redmon et al., 2016) and SSD (single shot detector) (Liu et al., 2016), which can also detect real-time objects, have been developed. YOLO is an algorithm for fast object detection using convolutional neural networks. With the YOLO algorithm, the class and object coordinates of all objects in the image are estimated by passing the image through the neural network at once.

In this work, a single-stage character detection algorithm is used to perform real-time character search on documents. In addition, since the YOLO algorithm is more successful in detecting small objects than other object recognition algorithms, and since there are small-sized characters in our problem, an Ottoman character recognition model has been developed in this study based on YOLOv4 architecture. Our model consists of three parts: backbone, neck, and head. The backbone of the CRN model is a feature extraction network that computes feature maps from the input images. The head and the backbone are connected by the neck. There are two main components of the neck: a path aggregation network and a spatial pyramid pooling (SPP) module. The neck sends feature maps from different network layers from the backbone as input to the head by concatenating them. In the head part of the network model, bounding boxes, objectness scores, and classification scores are estimated by processing the obtained features. The backbone of the Ottoman CRN model is CSP-DarkNet-53, which is used to extract features from the input images. The backbone part of the network model consists of five different residual block modules. The neck part of the network model combines and processes the feature map outputs of the residual blocks. On the neck, the SPP module takes the maximum pooled outputs of the low-resolution feature map and extracts the most effective features for the character recognition task. In the Ottoman CRN model, combining the feature maps increases the receptive field. Thus, the detection rate of small-sized characters also increases. High-resolution feature maps are merged with the feature maps from the SPP by using a path aggregation network (PAN). A collection of aggregated feature maps for use in character predictions is produced by the PAN module of the model. In the head part of the Ottoman CRN model, there are three modules to be used for character prediction, each module containing a Yolov3 network. The Ottoman CRN model is illustrated by a block diagram in Figure 4.

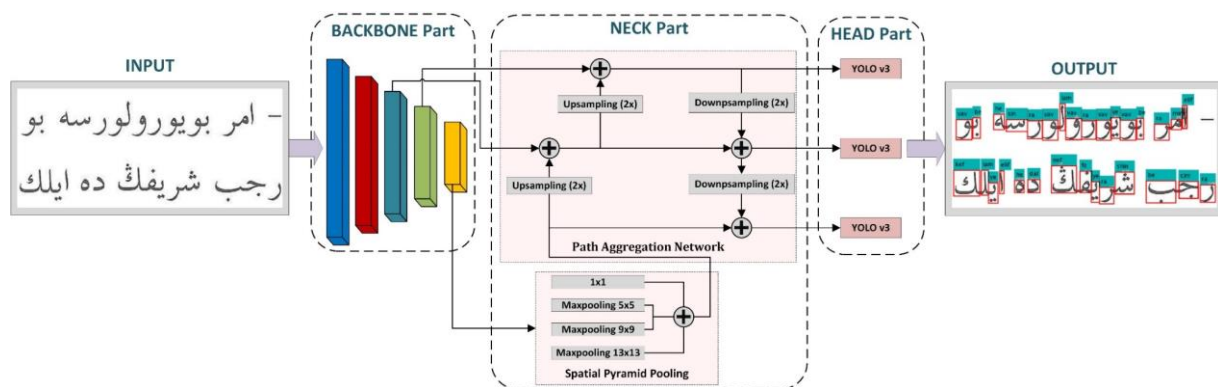


Figure 4. Block diagram of the Ottoman CRN model

To train the proposed method and evaluate its recognition performance, the dataset is randomly divided into training, validation, and test data. Out of a total of 125 images in the dataset; training, validation, and test data were allocated with ratios 80% , 10%, and 10% respectively. Therefore, 100 images were selected for training, 13 for validation, and 12 for testing, all chosen randomly from the dataset. In Figure 5, two text lines from a sample document image from the dataset are shown in the top row, and the corresponding character bounding boxes, drawn with red rectangles, are shown in the bottom row.



Figure 5. Bounding box representation of the characters in the dataset

Document images with varying sizes within the dataset were resized to $608 \times 1152 \times 3$ for CRN training. Furthermore, the input image size of the network was also adjusted to be the same size for CRN training. Depending on the size of the characters in the training data, 36 anchor boxes were set. To improve the training accuracy, data augmentation was performed. Data augmentation was applied to only the document images in the training set by applying random horizontal translation with 50% probability, random scaling by 10%, and color jittering in HSV color space. The main motivation for random scaling is to generate new expanded and contracted characters. This process allows the model to adapt to characters of different sizes. Color jittering was applied to ensure that the model correctly predicts characters for different page features. Horizontal translation helps to generate the characters in different sentence properties. Examples of document images obtained after data augmentation are given in Figure 6.



Figure 6. Examples of document images obtained after data augmentation

The Ottoman CRN architecture was trained for 100 epochs with a constant learning rate of 0.001 and using a minibatch size of 1. Since the amount of training data is relatively small, the minibatch size was chosen as 1 to train the model for each sample. The learning rate was chosen as 0.001 to prevent overfitting and to avoid getting stuck in the local minimum. The epoch number was assigned according to the success of the model in the validation dataset.

3. Experimental Results

Since the Ottoman characters recognition problem is considered as an object recognition problem, the average precision metric, which is the most widely used metric in the literature to evaluate the performance of object detection methods, was used to test the performance of the trained Ottoman CRN model. Average precision (AP) is calculated as the average of the precision values corresponding to different precision values on the precision-recall curve for each class. The calculation of precision and recall metrics are given in Equation (1) and Equation (2), respectively. Here TP stands for true positive, FP for false positive, and FN for false negative.

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \quad (1)$$

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \quad (2)$$

$$AP = \sum_{k=0}^{k=n-1} [Recall(k) - Recall(k + 1)] \times Precision(k) \quad (3)$$

$$wAP = \frac{\sum_{i=1}^N (AP_i \times n_i)}{\sum_{i=1}^N n_i} \quad (4)$$

Table 2 shows the number of characters in the test set (#C) and AP values for each character class. Accordingly, the weighted average precision value for a total of 2108 characters in the test set was calculated as 98.71%. Here, due to the imbalance in the number of characters in the dataset, the detection rate for the character ز zel, which has 1 character in the test set, and for the characters س se and ظ zi, which have 2 characters each, was calculated as a low value as expected. In addition, the average precision value was calculated as 0 for the character ج je, which was never found in the test set. To evaluate the general success of the method in detecting and recognizing Ottoman characters, the weighted average precision value, which takes into account the number of characters in the character classes, was calculated. The weighted average precision (wAP) value was calculated as 98.71% by multiplying the number of characters in the character classes and their corresponding average precision values and dividing by the total number of characters in the test set. The obtained results indicate that the Ottoman CRN model performs successfully in Ottoman character detection and recognition.

Table 2. The performance of the Ottoman CRN model for each character class in the test set

Character	ا elif	ب be	پ pe	ت te	ث se	ج cim	چ ce
#C	250	86	14	80	2	24	20
AP	1	0.9871	1	0.9869	0.5	0.8947	0.9955
Character	ح ha	خ hi	د dal	ذ zel	ر ra	ز ze	ژ je
#C	26	9	113	1	177	42	0
AP	1	0.6323	1	0	0.9976	0.9507	0
Character	س sin	ش şin	ص sad	ض dad	ط ti	ظ zi	ع ayın
#C	42	36	21	5	16	2	13
AP	0.9956	1	0.6567	1	1	0.5	1
Character	غ gayın	ف fe	ق kaf	ك kef	گ gef	ڭ nef	ل lam
#C	17	14	46	65	12	35	115
AP	1	0.9286	1	0.9998	1	1	0.9913
Character	م mim	ن nun	و vav	ه he	ی ye	لا lamelif	Total #C
#C	103	131	178	121	272	20	2108
AP	0.9805	0.9923	1	1	0.9960	1	wAP : 0.9871

The resulting confusion matrix is given in Figure 7. As seen from the confusion matrix, the proposed method can powerfully detect and recognize the characters. Moreover, the confusion matrix also provides important information about which characters the model predicts incorrectly and which pairs of similar characters cause errors. The analysis of the confusion matrix reveals that errors in character predictions generally occur among characters that share a very similar shape.

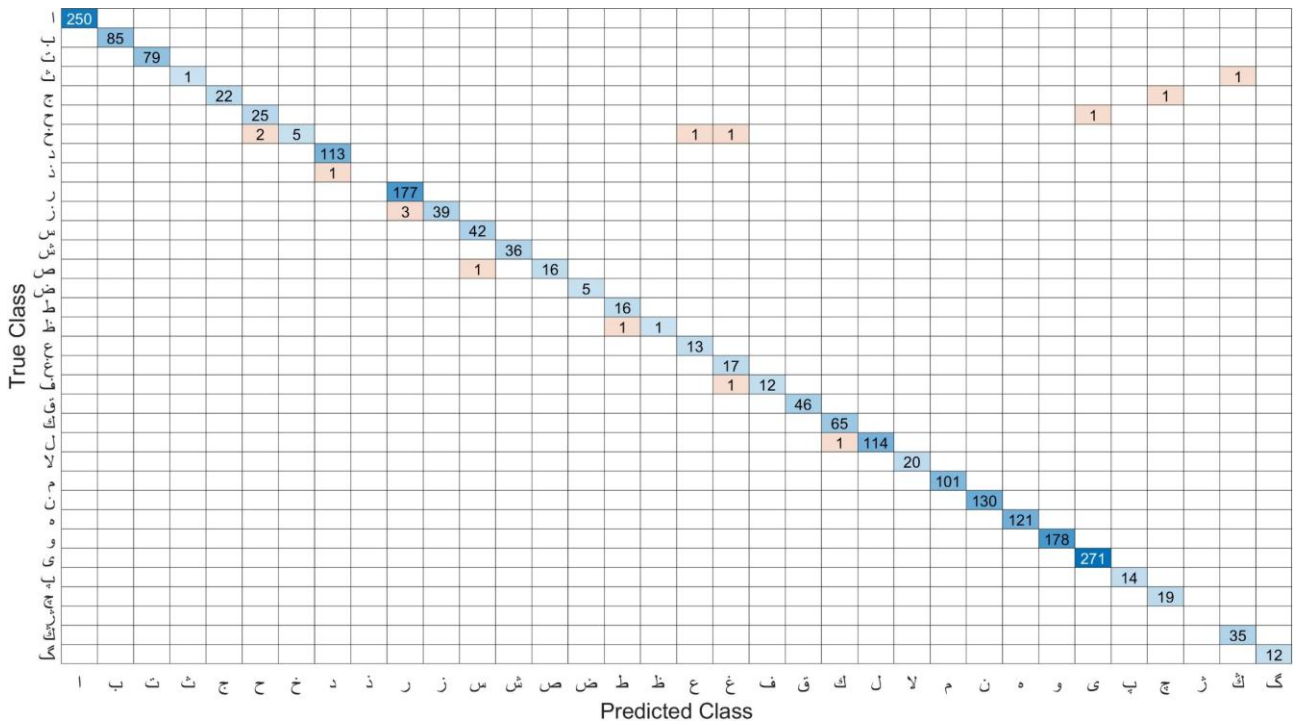


Figure 7. Confusion matrix of the proposed method for the test data

The output image containing the character predictions produced by the Ottoman CRN model against a sample test image given as input to the trained model is given in Figure 8. In this figure, the character bounding boxes in the exact reference are drawn with green dashed rectangles, and the bounding boxes of the characters predicted by the model are drawn with red rectangles. Additionally, the class of characters predicted by the model is printed above the red rectangles.



Figure 8. Output image containing character predictions of the Ottoman CRN model

Some of the characters predicted incorrectly by the Ottoman CRN model are given in Figure 9. Here, each box contains a different word image and the character predictions of the CRN model against these word images. In the Ottoman word images at the top of the boxes show only the characters for which the classification score of the CRN model is below 0.7, while the word images at the bottom show all the character predictions of the model. In other words, the model made two predictions for one character for the word images given in Figure 6. Since the highest classification score among these predictions belongs to the correct character, it is thought that false predictions can be eliminated by the multiple predictions are detected with post-processing steps and the high-scoring prediction is selected. In addition, as can be seen in Table 2, some of the characters in the dataset contain very few samples. It is thought that if the number of samples is increased for characters that are fewer in the data set than others, the model can detect and recognize these characters with high accuracy.

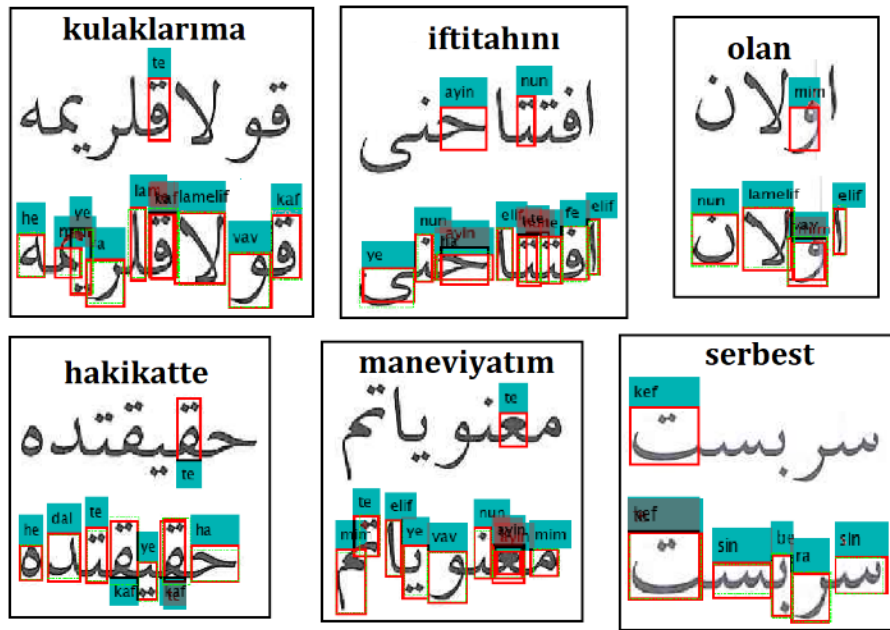


Figure 9. Images of some characters that the model predicted incorrectly

4. Result and Discussion

In this study, a deep learning-based model that can perform character detection and character recognition on Ottoman printed documents has been developed. For this purpose, a dataset containing Ottoman printed texts was created and the Ottoman CRN model was trained with this dataset. The Ottoman CRN model was used to detect and recognize the characters in the images of Ottoman documents in the test set with high accuracy. Due to the low frequency of use of some characters from Persian and Arabic in Ottoman Turkish, the recognition rate of some of these characters was low. It is thought that this problem can be solved by retraining the model by increasing the amount of data for characters with few examples. The proposed method produces successful results on printed documents, and there are other studies on Ottoman manuscript documents in the literature. However, to the best of our knowledge, computer vision and artificial intelligence applications have not been applied for the interpretation of Ottoman manuscript documents. In future studies, it is planned to create a manuscript dataset, train the model with that dataset, and perform character detection and recognition in manuscript documents. The model made more than one prediction for some characters. The success of the model will be further improved by identifying the characters in this situation and eliminating the predictions with a classification score below a certain threshold value. The proposed method can be evolved into a word spotting method by finding the characters belonging to the searched keyword in the Ottoman document images. Thus, the problem of depending on the dictionary in word spotting studies will be prevented. In addition, this method can be used as a character recognition stage at the beginning of automatic transcription studies from Ottoman to Turkish. After the characters in the text are recognized by the proposed method, words can be formed from the recognized characters and translated into modern Turkish.

Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

References

- Altun, H. O. (2022). Osmanlı Türkçesi araştırmalarında optik karakter tanıma teknolojisinin kullanımı. Bařkent 3. Uluslararası Multidisipliner Bilimsel Çalışmalar Kongresi, 23-25 Eylül 2022.
- Bilgin Tasdemir, E. F. (2023). Printed Ottoman text recognition using synthetic data and data augmentation. *International Journal on Document Analysis and Recognition (IJ DAR)*, 1-15.
- Bochkovskiy, A., Wang, C. Y., & Liao, H. Y. M. (2020). Yolov4: Optimal speed and accuracy of object detection. *arXiv preprint arXiv:2004.10934*.
- Doğru, M. (2016). Ottoman-Turkish Optical Character Recognition and Latin Transcription (Master's thesis, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Dölek, İ., & Kurt, A. (2023). Derin Sinir Ağlarıyla Osmanlıca Optik Karakter Tanıma. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 38(4), 2579-2594.
- Girshick, R. (2015). Fast R-CNN. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision* (pp. 1440-1448).

- Gkioxari, G., Hariharan, B., Girshick, R., & Malik, J. (2014). R-CNNs for pose estimation and action detection. arXiv preprint arXiv:1406.5212.
- Gorgel, P., Kilic, N., Ucan, B., Kala, A., & Ucan, O. N. (2009). A backpropagation neural network approach for Ottoman character recognition. *Intelligent Automation & Soft Computing*, 15(3), 451-462.
- Onat, A., Yildiz, F., & Gündüz, M. (2006). Ottoman script recognition using hidden Markov model. *IEEE Transaction on Engineering Computing Technology*, 14, 71-73.
- Öztürk, A., Güneş, S., & Özbay, Y. (2000, December). Multifont Ottoman character recognition. In *ICECS 2000. 7th IEEE International Conference on Electronics, Circuits and Systems (Cat. No. 00EX445) (Vol. 2, pp. 945-949)*. IEEE.
- Kilic, N., Gorgel, P., Ucan, O. N., & Kala, A. (2008, March). Multifont Ottoman character recognition using support vector machine. In *2008 3rd International Symposium on Communications, control and Signal Processing (pp. 328-333)*. IEEE.
- Kurt, Z., Türkmen, H. I., & Karşılıgil, M. E. (2007, June). Ottoman Alphabet Character Recognition by LDA. In *2007 IEEE 15th Signal Processing and Communications Applications (pp. 1-4)*. IEEE.
- Kurt, Z., Türkmen, H. I., & Karşılıgil, M. E. (2009). Linear discriminant analysis in Ottoman alphabet character recognition. In *Proceedings of the European Computing Conference: Volume 2 (pp. 601-607)*. Springer US.
- Küçükşahin, N. (2019). Design of an Offline Ottoman Character Recognition System for Translating Printed Documents to Modern Turkish (Master's thesis, Izmir Institute of Technology).
- Liu, W., Anguelov, D., Erhan, D., Szegedy, C., Reed, S., Fu, C. Y., & Berg, A. C. (2016). SSD: Single shot multibox detector. In *Computer Vision–ECCV 2016: 14th European Conference, Amsterdam, The Netherlands, October 11–14, 2016, Proceedings, Part I 14 (pp. 21-37)*. Springer International Publishing.
- Majid, N., & Smith, E. H. B. (2019, September). Segmentation-free bangla offline handwriting recognition using sequential detection of characters and diacritics with a faster R-CNN. In *2019 International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR) (pp. 228-233)*. IEEE.
- Mondal, R., Malakar, S., Barney Smith, E. H., & Sarkar, R. (2022). Handwritten English word recognition using a deep learning-based object detection architecture. *Multimedia Tools and Applications*, 1-26.
- Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., & Farhadi, A. (2016). You only look once: Unified, real-time object detection. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition (pp. 779-788)*.
- Ren, S., He, K., Girshick, R., & Sun, J. (2015). Faster R-CNN: Towards real-time object detection with region proposal networks. *Advances in neural information processing systems*, 28.
- Tesseract, Tesseract Open Source OCR Engine, <https://github.com/tesseract-ocr>, Access Date: 27.09.2023.
- Tulum, M. (2014). Osmanlı Türkçesine Giriş 1-7. Anadolu Üniversitesi.
- Uçar, M. (2021). Osmanlı Türkçesi Kolay Okuma Metinleri 1. Hayrât Neşriyat. Isparta.
- Uzun, A. B., & Özer, A., 2021. Ottoman Turkish Characters, Access Date: 09.04.2022. <https://www.kaggle.com/datasets/alpbintuuzun/ottoman-turkish-characters>
- Yalniz, I. Z., Altıngövdü, I. S., Gündükbay, U., & Ulusoy, Ö. (2009). Integrated segmentation and recognition of connected Ottoman script. *Optical Engineering*, 48(11), 117205-117205.



IOT CİHAZLARINDA İNSAN HATASINDAN KAYNAKLANAN GÜVENLİK AÇIKLARININ ANALİZİ

Mevlüt SEVİNÇ^{1*}, İsa AVCI²

¹ Karabük Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Karabük, Türkiye

² Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Karabük, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>IoT Cihazları, IoT Güvenlik, IoT Güvenlik Saldırıları, İnsan Kaynaklı Hatalar.</i>	1970'li yıllarda başlayan kişisel bilgisayarların kullanımı günümüzde artık yüzlerde çeşit kişisel ürünün kullanımı olarak devam etmektedir. Cep telefonları, akıllı bileklikler ve saatler, tabletler, hatta okullarda kullanılan tahtalar bile artık internete bağlı ve etkileşim halindedirler. Günümüzde IoT (Internet of Things) olarak adlandırılan bu etkileşim, bilim insanlarının da dikkatini çekmektedir. IoT cihazları sadece günlük yaşamda değil, kurumsal, endüstriyel, sağlık, tarım vb. birçok alanda da kullanılmaktadır. Özellikle akıllı cihazların günlük yaşamda kullanımının artmasıyla beraber bir cihaz ekosistemi de kendiliğinden ortaya çıkmıştır. Kalp ritminin ölçümü, derin uyku uyuma süreleri, günlük adım sayısı gibi bilgiler bu cihazlar sayesinde insanların 7/24 takibini sağlamaktadır. Bu durum da beraberinde birçok güvenlik sorununu açığa çıkarmaktadır. Kişisel verilerin çalınması, değiştirilmesi ve ikinci şahıslara satılması gibi muhtemel sebepler bilgisayar korsanları açısından ilgi çekici olarak görülmektedir. Özellikle kredi kartı bilgileri, bankacılık bilgilerinin korunması büyük önem arz etmektedir. Bahsedilen bu güvenlik açıklarının sebeplerinden birisi bu cihazları birincil olarak kullanan insandan kaynaklı hatalardır. Bu çalışmada; insan hayatında bu derece yer eden IoT cihazlarının güvenliğini tehdit eden unsurlar, güvenlik önlemlerini sağlamak için insanların yapması gerekenler incelenecektir. Ayrıca, bu cihazlarda güvenlik açığı oluşturan ve insanlardan kaynaklı güvenlik hataları ile kullanıcıların alabileceği çözüm önerileri analiz edilecektir.

ANALYSIS OF SECURITY VULNERABILITIES CAUSED BY HUMAN ERROR IN IOT DEVICES

Keywords	Abstract
<i>IoT Devices, IoT Security, IoT Security Attacks, Human-Caused Faults.</i>	The use of personal computers, which started in the 1970s, is now a use of hundreds of different personal products. Cell phones, smart wristbands and watches, tablets, and even the blackboards used in schools are now connected to the internet and interact with each other. This interaction, now called IoT (Internet of Things), is also attracting the attention of scientists. IoT devices are used not only in daily life but also in many areas such as corporate, industrial, health, agriculture, etc. Especially with the increasing use of smart devices in daily life, a device ecosystem has emerged spontaneously. Information such as heart rhythm measurement, deep sleep sleep times, daily step count, etc. are tracked 24/7 by these devices. This raises many security issues. Possible reasons such as theft, alteration, and sale of personal data to second parties are seen as interesting for hackers. Especially the protection of credit card information and banking information is of great importance. One of the reasons for these security vulnerabilities is the human error that is the primary user of these devices. This study will examine the factors that threaten the security of IoT devices, which have such a place in human life, and what people should do to ensure security measures. In addition, security flaws that create security vulnerabilities in these devices and security errors caused by humans and the solutions that users can take will be analyzed.

Alıntı / Cite

Sevinç, M., Avcı, İ., (2024). IoT Cihazlarında İnsan Hatasından Kaynaklanan Güvenlik Açıklarının Analizi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 12(2), 403-415.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

M. Sevinç, 0000-0001-6609-1927
İ. Avcı, 0000-0001-7032-8018

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	09.01.2023
Revizyon Tarihi / Revision Date	07.04.2024
Kabul Tarihi / Accepted Date	13.04.2024
Yayın Tarihi / Published Date	30.06.2024

* İlgili yazar / Corresponding author: mvl.t.sevinc@gmail.com, +90-545-908-75-77

ANALYSIS OF SECURITY VULNERABILITIES CAUSED BY HUMAN ERROR IN IOT DEVICES

Mevlüt SEVİNÇ^{1†}, İsa AVCI²

¹ Karabük University, Graduate Education Institute, Department of Computer Engineering, Karabük, Türkiye

² Karabük University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, Karabük, Türkiye

Highlights

- IoT, refers to a world where various physical devices are uniquely connected to each other.
 - IoT devices face challenges arising from the use of standard internet protocols for communication.
 - Especially the use of IoT devices and user errors caused by humans are increasing day by day.
-

Purpose and Scope

In this article, information about attacks on IoT devices will be given and security vulnerabilities created by users will be emphasized.

Design/methodology/approach

In this article, studies on the security of the Internet of Things (IoT) are analyzed. Attacks and measures found as a result of the studies are mentioned.

Findings

As technology advances, the use of electronic devices, particularly IoT devices, has increased, along with associated user errors. Due to users' security vulnerabilities, attacks on these devices are increasing, and such attacks do not require physical proximity. Consequently, every device connected to the internet is at risk if adequate security measures are not implemented. It is crucial to enhance users' security awareness, inform them, and provide regular awareness training.

Social Implications

Information sharing among devices via the IoT system is feasible, and connecting to any internet-enabled device has simplified operations. However, ensuring the security of users and devices is crucial. As a result of this study, awareness-raising visuals regarding the secure use of IoT devices should be prepared for end users, and topics on attack methods and security measures should be included in IT courses in schools. Additionally, public service announcements should emphasize the importance of cybersecurity, and cybersecurity topics should be prominently included in product manuals. Institutions should prioritize in-service training to enhance cybersecurity awareness. Both users and IoT manufacturers must be prepared for commonly encountered security vulnerabilities identified in the reviewed studies, such as weak encryption, default usernames and passwords, lack of updates and patches, poor design, weak network security, and physical security vulnerabilities. Users should employ strong encryption, change default credentials, and use up-to-date software. Companies should regularly release updates and patches, and security software firms should conduct frequent penetration testing. Furthermore, users must ensure the physical security of their IoT devices to prevent theft, hardware damage, and the installation of malicious sensors.

Originality

This article highlights human-induced security vulnerabilities. It aims to describe the security measures that users can take to counteract these errors.

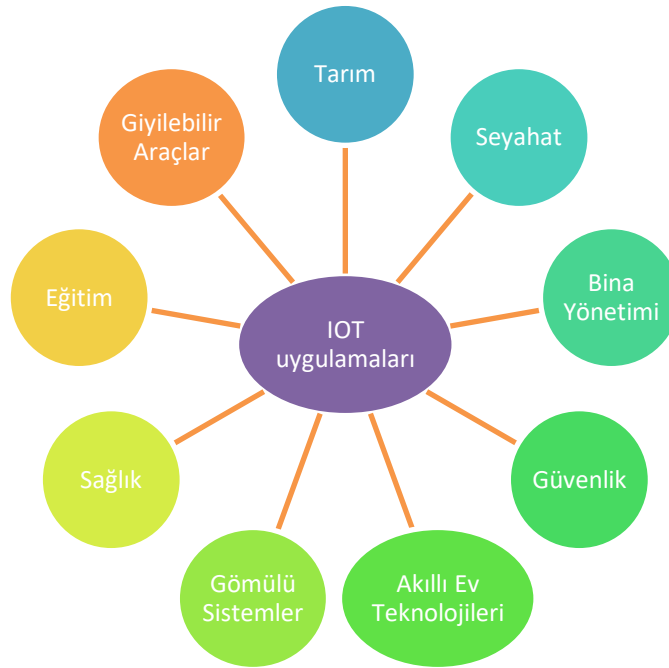
[†] Corresponding author: mvl.sevinc@gmail.com, +90-545-908-75-77

1. Giriş (Introduction)

2011 yılında Almanya'da düzenlenen Hannover Fuarı'nda dördüncü sanayi devriminden bahsedilmeye başlanmıştır. Bununla beraber sensörlerin kullanımı, bulut bilişim, büyük veri bilimi, simülasyon ve sanallaştırma sistemleri, siber güvenlik gibi teknolojik gelişmelerin önemi artmıştır (Uyanık, Gökdemir, Karayığit, & Yücel, 2020). Bununla beraber akıllı gömülü sistemlerin kullanımının giderek artması cihazların birbiri ile bağlantılı kurmasını zorunlu hale getirmiştir.

İnternet of Things (IoT), çeşitli fiziksel cihazların birbirine bağlı olduğu ve benzersiz bir şekilde tanımlanabilir olduğu bir dünyayı öngören bir kavramdır (Li vd., 2014). Bu bağlantılı ağ, RFID etiketleri, sensörler, aktüatörler ve akıllı cihazlar gibi geniş bir yelpazedeki cihazları içerir; hepsi sorunsuz bir şekilde entegre edilmiştir ve çok sayıda dijital hizmet sunmak üzere bir araya getirilmiştir (Zanella vd., 2014).

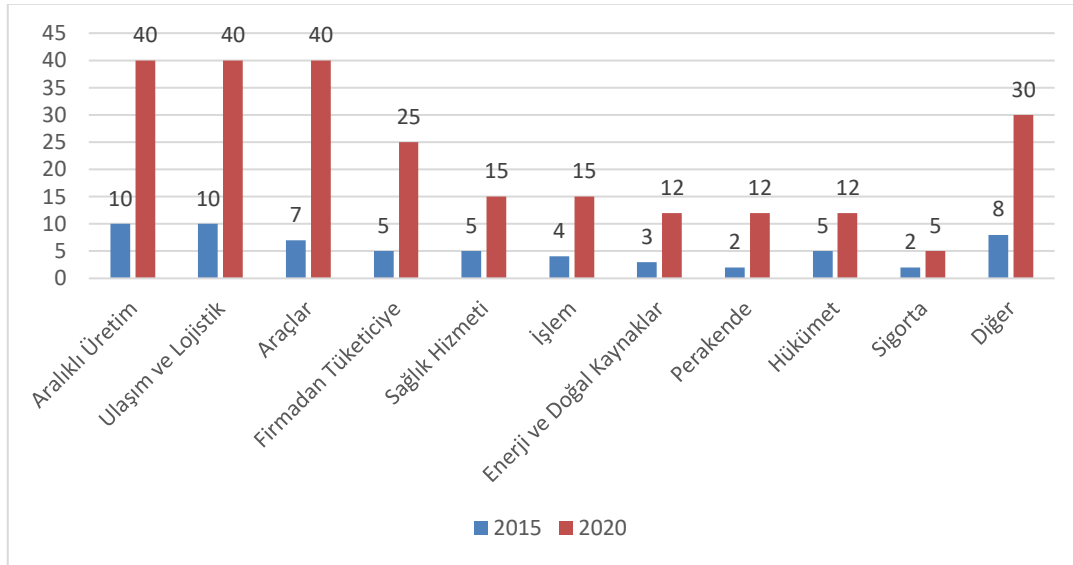
IoT altyapısı, heterojen son sistemlerin geniş bir yelpazesinin bağlantısına izin verirken, dijital hizmetlerin geliştirilmesi için seçici veri erişimini sağlar (Zanella vd., 2014). Bu bağlı cihazlar ağı, kaynak kısıtlı cihazlar ve sensörler arasında kablolu ve kablosuz ağlar aracılığıyla iletişimi kolaylaştırır (Said & Zolkipli, 2022). IoT, sadece günlük yaşamı geliştirmekle kalmaz, aynı zamanda toplum üzerinde derin bir etkiye sahiptir (Guo & Li, 2021). Diğer yaygın bir tanımıyla IoT; bilgi toplumu için küresel bir alt yapı oluşturan, gün geçti gelişen, birbirleri ile haberleşerek bilgi paylaşımı gerçekleştiren cihazlar topluluğudur (ITU, 2012). Şekil 1'de IoT cihazlar topluluğuna ait kullanım alanları gösterilmeye çalışılmıştır.



Şekil 1. IoT Cihazları Uygulama Alanları (IoT Devices Application Areas)

Güvenlik, IoT'un kritik bir yönüdür ve gömülü ağlar içinde iletişim için standart internet protokollerinin kullanımından kaynaklanan zorluklarla karşılaşmaktadır (Heer vd., 2021). Ayrıca, IoT, akıllı üretim, akıllı şehirler, ulusal savunma ve diğer endüstrilerde önemli bir rol oynamaktadır ve uygulamalarında güvenlik ve etkileşim yeteneği gereksinimini vurgulamaktadır (Xu, 2021).

Nesnelerin İnterneti'nin (IoT) maliyetleri düşürme, yeni iş modellerini etkinleştirme ve uygulama geliştirme potansiyeline sahip olduğu görülmektedir. IoT, Bulut Hizmetleri ve API (Application Programming Interface - Uygulama Programlama Arabirimi) uygulamalarının ve bunları sunan pazaryerlerinin daha hızlı çoğalmasını sağlamıştır. API'ler, sistemler arasında en az hata ile gerçek zamanlı entegrasyon işlemi sağlayarak IoT projelerinin daha hızlı ve daha doğru bir şekilde başarıya ulaşmasında öncülük etmektedir. Yüksek hızlı kablosuz ağlar, IoT için önemli bir büyüme faktörüdür. Bu nedenle Samsung, Qualcomm, LG, Huawei ve Intel gibi birçok teknoloji firması patentlerle ürün liderliği oluşturmak için yoğun bir şekilde rekabet etmektedirler. Bu ilk beş patent sahibi firma, bugün 13.300'den fazla IoT patentini kontrol etmektedirler (Columbus, 2018). 2015 ve 2020'de dikey olarak dünya çapında Nesnelerin İnterneti harcamaları (Şekil 2) incelendiğinde beş yılda büyük bir farkın olduğu açık ara bir şekilde oldukça belirgindir.



Şekil 2. 2015 ve 2020'de dikey olarak dünya çapında Nesnelerin İnterneti harcamaları (Statista, 2021)
(Worldwide IoT spending vertically in 2015 and 2020)

Yapılan incelemeler neticesinde güvenlik açıklarından bahsedilmiş, çözüm yolları üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Fakat kullanıcı tarafından meydana gelen güvenlik açıklarına değinilmemiştir. IoT sisteminin giderek yaygınlaşması, kullanıcı sayısının her gün artması, güvenlik konusunda büyük açıklıklar oluşmasına neden olmuştur. Sistemlerin sürekli güncellenmesi güvenliği artırsa da insanlar maalesef güvenli kullanım konusunda yetersiz kalmaktadır. Bu çalışmada, en zayıf halka olan kullanıcıların yaptıkları hatalar ve çözümleri analiz edilerek açıklanmıştır. Bu çalışmanın ikinci bölümünde IoT konusunda daha önce yapılmış çalışmalar incelenmiş, insan hatasından kaynaklı güvenlik açıkları açıklanmaya çalışılmış, tartışma ve değerlendirme yapılmış ve son olarak da bu çalışma sonuçları analiz edilmiştir.

2. Literatür Araştırması (Literature Reviwer)

Uludağ ve Uçar (2018), "Nesnelerin İnterneti (IoT) ile Akıllı Sınıf ve Öğrenci Takip Sistemi Tasarımı" isimli makalelerinde yazılım ve donanım aşamalarından oluşan Akıllı sınıf ve Öğrenci takip sistemi geliştirmişlerdir. Donanım aşamasında Radyo Frekansı ile Tanımlama (Radio Frequency Identification, RFID) etiketi içeren öğrenci kimlik kartları yoklama alınabilen, sınıfın kapısını açan ve ışıkları kontrol eden elektronik bir sistem, yazılım aşamasında ise bu sistemin otomasyonunu geliştirmişlerdir (Uludağ & Uçar, 2018).

Kumar ve Deora (2021); yaptıkları bildiride IoT'nin mimari yapısından, güvenlik sorunlarından ve gereksinimlerinden bahsetmişlerdir, gelecekte IoT'de çıkabilecek güvenlik sorunlarını ayrıntılı olarak tartışmış ve bu güvenlik açıklarının giderilmesi için ortaya konan farklı teknikleri karşılaştırmışlardır. Literatürdeki farklı makaleleri incelemişler, artı ve eksi yönlerini ortaya koymuşlardır. Bu çalışma sonucunda verilerin gizliliğinin yüksek verimle elde edildiği güvenli bir kriptografi tabanlı mekanizma önermişlerdir (Kumar & Deora, 2021).

Toutsop, Das ve Kornegay (2021); yaptıkları çalışmalarında akıllı evlerde kullanılan dört farklı IoT cihazına DoS (Denial-of-service attack - Servis dışı bırakma) saldırıları düzenleyerek sensörlerin güvenlik açıklarından yararlanmışlar, kullanıcı verilerini ele geçirebildiklerini ortaya koymuşlardır. Saldırıları düzenlemek için sanal sunuculara kurdukları Kali Linux'tan faydalanmışlardır. Yaptıkları deneyde bilgisayar korsanlarının yetkisiz ağ erişimi elde etmek, çeşitli IoT cihazları ile kullanıcı verilerini kullanmak için sensörlerden yararlanabileceklerini göstermişlerdir. Ayrıca makine öğrenmesi ve derin öğrenme kombinasyonları ile saldırıların tespitini ve saldırıları azaltmaya yönelik saldırı tespiti tekniğini önermişlerdir (Toutsop, Das, & Kornegay, 2021).

Monia, Sharma ve Dhir (2021); yaptıkları bildiride sis bilişim ve IoT cihazlarının gerçek dünyadaki uygulamalarını incelemişlerdir. Sis bilişimin, bulut bilişime kıyasla bazı güvenlik sorunlarını ele almışlardır. Bu güvenlik sorunları ve olası çözümleri üzerinde durmuşlar, zorluklarını ortaya koymuşlar, etkisini azaltmak için çözüm sunmuşlardır. Aşağıdaki Tablo 1'de olası güvenlik sorunlarını ve çözümlerini göstermeye çalışmışlardır (Monia, Sharma, & Dhir, 2021).

Tablo 1. Olası Güvenlik Sorunlarını ve Çözümleri (Possible Security Issues and Solutions)

Roller	Güvenlik Zorlukları	Olası Çözümler
Veri İşleme	<ul style="list-style-type: none"> • Veri Yayma • Veri Dağıtım • Veri İhlali • Veri Şifreleme • Veri Paylaşımı • Büyük Veri Analizi • Adli Bilişim 	<ul style="list-style-type: none"> • Güvenilir Platform • Yetki İptali • Simetrik Şifreleme ve Asimetrik Şifreleme • Veri Maskeleyme • Veri Ve Konum Kayıt Veritabanının İzlenmesi • Doğrulanabilir Hesaplama Şeması • Verilerin Gizlenmesi
Ağ Hizmetleri ve İletişim	<ul style="list-style-type: none"> • Kimlik Doğrulama • Hafifletilmiş Protokoller • Ağ İzleme • Paket Filtreleme • Tespit Sistemi • Güven Yönetimi • Sanallaştırma • Erişim Kontrolü • Arızaya Dayanıklılık 	<ul style="list-style-type: none"> • Açık Anahtarlı Şifreleme, Biyometrik Tabanlı Kimlik Doğrula • Yerel ve küresel algılama sistemima • Dijital İmza ve Dijital Sertifika Tahsisi • Rol Tabanlı ve Öznitelik Tabanlı Kontrol Politikası • Sis Tabanlı Gizlilik • Anahtar Yönetimi • Gizliliği Koruyan Paket İletimi
Cihaz Gizliliği	<ul style="list-style-type: none"> • Hassas Veri Koruması • Veri Bütünlüğü • Güvenli Veri Paylaşımı • Veri Kaybı • Konum Gizliliği • Kullanım Gizliliği • Yedekleme ve Kurtarma 	<ul style="list-style-type: none"> • Hafif şifreleme algoritması ve maskeleyme teknikleri • Homomorfik Şifreleme • Ev Alanı Ağı Şifreleme Yöntemleri • Takma Ad Yöntemleri • Simetrik ve Asimetrik Şifreleme • Kimlik gizleme

Atham ve Wills (2020); "Dijital İkiz Teknolojiler ve Akıllı Şehirler" kitabının bir bölümünde IoT cihazlarının güvenliği, gizliliğine dair genel bir çalışma ortaya koymuşlardır. IoT mimarisi ve temel özelliklerinden bahsetmişlerdir. IoT güvenlik gereksinimlerini, güvenlik saldırı çeşitlerini ve IoT cihazlarının güvenliğine dair zorluklar hakkında tartışmışlardır. Gizlilik tehditlerini araştırmışlar, bu konuda çözüm önerilerini vurgulamışlardır. Sonucunda IoT güvenlik tehditleri, güvenlik önlemleri, güvenli bir akıllı şehir tasarımı üzerinde çalışmışlardır (Atlam & Wills, 2020).

Chong, Xiong ve Proctor (2019); yaptıkları çalışmada IoT cihazları tasarlanırken gizlilik ve güvenlik konularında insan faktörünün benimsenmesini ele almışlardır. Çalışmalarında teknoloji kullanıcılarını, cihaz tasarımlarının ilk aşamasından itibaren hesaba katılması gerektiğini vurgulamışlardır. Araştırmacıların ve tasarımcıların, IoT cihazlarında güvenliği ve gizliliği ihlal eden saldırganlara karşı başarılı olmak istiyorlarsa, IoT kullanıcılarını da içeren çok yönlü bir yaklaşım geliştirmeleri gerektiğini benimsemişlerdir (Chong, Xiong, & Proctor, 2019).

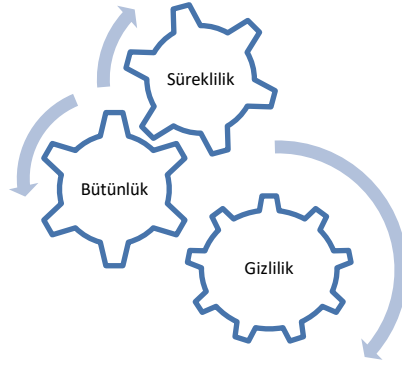
Ahmed, Tahir ve Habaebi (2021); yaptıkları çalışmalarında IoT'de doğrulama ve kimlik yetkilendirme için makine öğrenimi yöntemini incelemişlerdir. Birbirine bağlı cihazlar arasındaki iletişimi engellemeye yönelik saldırılara karşı makine öğrenmesi yöntemiyle kimlik doğrulama ve yetkilendirme savunma hattını güçlendirme çalışmalarını incelemişlerdir (Ahmed vd., 2021).

İncelemeleri yapılan çalışmalarda insan hatasından kaynaklı açıklara değinilmemiştir. Oldukça fazla sayıda kullanıcıdan meydana gelen iletişim ağında en zayıf güvenlik halkasını insanlar oluşturmaktadır. Çalışmanın devamında kullanıcılardan kaynaklı oluşabilecek güvenlik açıklarına değinilecektir.

3. İnsan Hatasından Kaynaklı Güvenlik Açıkları (Security Vulnerabilities Caused by Human Fault)

3.1. Bilgi ve Bilgi Güvenliği (Information and Information Security)

TDK'ye göre bilgi, kurallardan yararlanarak kişinin veriye yönelttiği anlam olarak tanımlanmaktadır (TDK, 2021). Bilişim teknolojilerinde ise teknolojik araçlar ile işlemekte olan verilerin tümünü ifade etmektedir (Uyanık, Gökdemir, Karayığit, & Yücel, 2020). Bilgi güvenliği; bilgi sahibinin rızası olmadan bilginin yetkisiz kişilerce elde edilmesine, değiştirilmesine, bilgiye zarar verilmesine karşı alınan önlemler olarak tanımlanır. Şekil 3'te yer alan gizlilik, bütünlük, süreklilik (erişebilirlik) unsurlarından herhangi biri zarar görürse güvenlik açığı meydana gelir (Şen & Yerlikaya, 2013). Örneğin fotoğraflar, ses kayıtları, özel kutlamalarda çekilen her video, internet tarayıcısı geçmişi, kredi kartı bilgileri gibi veriler kullanıcılar için oldukça önemli olan bilgilerdir. Bunların herhangi bir şekilde farklı mecralarda yayınlanması hiçbir kullanıcı tarafından istenmeyecektir. Bu sebeple bilgi ve bilgi güvenliği IoT kullanıcıları için önemlidir.



Şekil 3. Temel Güvenlik İlkeleri (Basic Security Principles)

3.2. Temel Güvenlik Prensipleri (Basic Security Principles)

3.2.1. Açılış Güvenliği (Boot Security)

Açılış güvenliği; IoT cihazları içinde yer alan kişisel verilerin güvenliğinin alınmasında ilk adımı ifade etmektedir. Bu cihazların Şekil 4'te de gösterildiği gibi hem fiziksel olarak hem de yazılımsal olarak güvenliği sağlanmalıdır. Çalınan bir IoT cihazının açılış şifresinin olması, içindeki verilere erişimi zorlaştıracaktır.



Şekil 1 IoT Güvenliği (IoT Security)

3.2.2. Parola Güvenliği Prensipleri (Password Security Principles)

Basit parolalar kullanmak bilgilere erişimi kolay hale getirmektedir. Zayıf parolaların aşılması saldırganlar için oldukça kısa zaman almaktadır. Bu sebeple kullanıcıların güçlü şifreler kullanmaları sağlanmalıdır. Birbirini tekrar eden sayılar ya da harfler, içinde doğum günü gibi bilgileri içeren parolalar yerine daha karmaşık şifreler kullanılmalıdır (Uyanık, Gökdemir, Karayığit, & Yücel, 2020).

3.2.3. İnternet Erişim Güvenliği (Internet Access Security)

İnternet, insanların yaşamını her yönüyle kolaylaştırmıştır. Alışveriş, bilgiye erişim, haberleşme gibi oldukça hayati konularda kolaylıklar sağlamaktadır. Fakat dikkatsiz kullanımında önemli birçok verinin el değiştirmesine sebep olmaktadır. Çevrimiçi ortamda hangi web sitelerinin güvenli olduğu iyi bilinmelidir. Web sitelerinin https bağlantısına sahip olduğuna bakılmalı, geçerli bir güvenlik sertifikasının olduğu kontrol edilmelidir. (BTK, 2019)

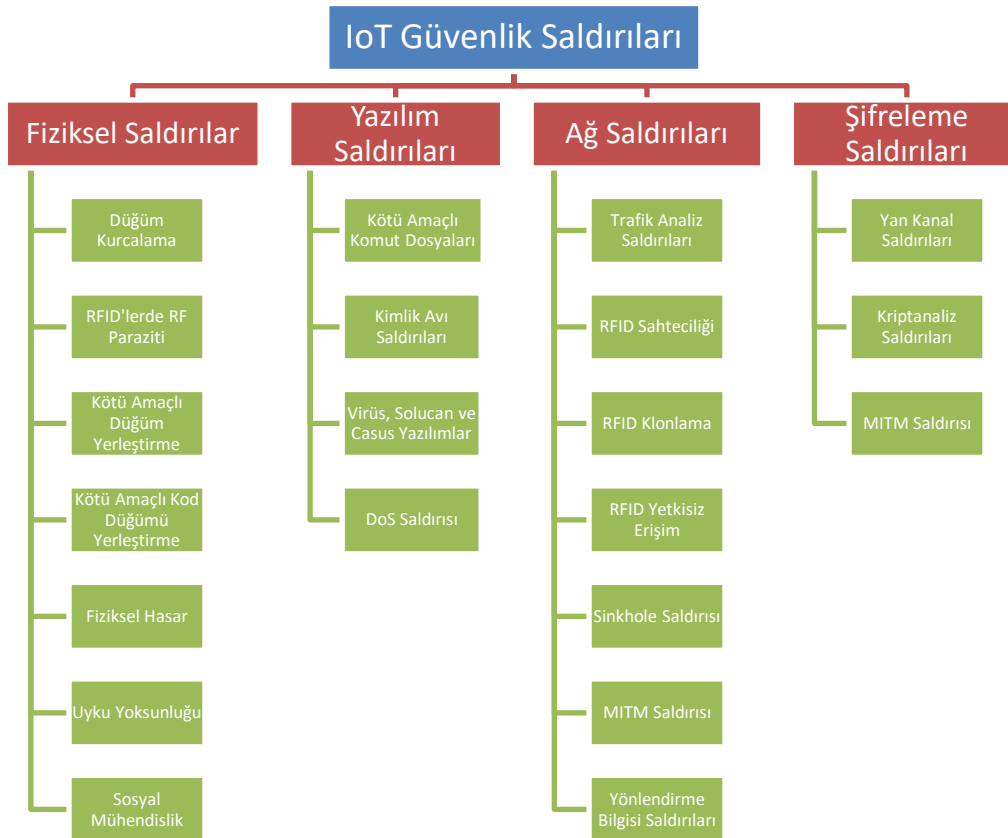
3.2.4. Zararlı Yazılımlardan Korunma Prensipleri (Malware Protection Principles)

Akıllı cihaz sayısının giderek arttığı bu günlerde bilgilerin korunması oldukça önemlidir. Kullanıcıların zararlı yazılımlara ve saldırılara karşı alabileceği önlemler aşağıda sıralanmıştır (Aytekin, Ayaz, Tüminçin, & Bektaş, 2019):

- Yeterince güvenlik bilgisine sahip olunmalı,
- Yeterli ve güncel bir anti virüs yazılımı kullanılmalı,
- Güvenirliği düşük kaynaklardan dosya paylaşımı yapılmamalı, cihazlara veri indirilmemeli,
- Çalınma riskine karşı çeşitli kaynaklar aracılığı ile yedek alınmalı,
- Güçlü şifreler kullanılmalı,

3.3. IoT Güvenlik Saldırıları (IoT Security Attacks)

IoT cihazlarının güvenlik kontrollerini sağlamak için öncelikle ne gibi saldırılara maruz kaldığına bakmak gerekmektedir. IoT sisteminde; Şekil 5'te gösterildiği gibi fiziksel, yazılım, ağ ve şifreleme saldırıları olmak üzere dört ana saldırı türü vardır (Atlam & Wills, 2020).



Şekil 2. IoT Sisteminde Çeşitli Güvenlik Saldırıları (Various Security Attacks in IoT System)

3.3.1. Fiziksel Saldırıları (Physical Attacks)

Bu tür saldırılarda saldırganın IoT sistemine yakın olması gerekmektedir. Saldırgan, IoT cihazlarına fiziksel olarak yakın olmalı ve sistemin donanım öğelerine zarar vermesi gerekmektedir. (Babar, Stango, Prasad, Sen, & Prasad, 2011).

- **Düğüm Kurcalama (Node Tampering):** Bir sensör düğümü yada donanımın bir parçasını değiştirerek, önemli bilgilere erişim sağlama, bilgilere zarar verme hedeflenmektedir (Sopori, Pawar, Patil, & Ravindran, 2017).

- **RFID'lerde RF Paraziti (RF Interference on RFIDs):** Saldırgan burada, radyo frekansı sinyalleri ile sensörlere DoS saldırısı düzenleyerek sensörlerin çalışmasını engeller (Deogirikar & Vidhate, 2017).
- **Kötü Amaçlı Düşüm Yerleştirme Malicious Node Injection):** Hassas bilgilere erişim için iletişim düğümleri arasına fiziksel olarak düşüm ekleyerek bilgi elde eder. Düğümler arasındaki bilgi akışı kontrol edilmeye çalışılır (Atlam & Wills, 2020).
- **Kötü Amaçlı Kod Düşümü Yerleştirme (Malicious Code Injection):** Cihaza erişim sağlamaya yarayan kod içeren düşüm eklenerek bilgi akışı sağlanmaya çalışılır (Atlam & Wills, 2020).
- **Fiziksel Hasar Physical Damage):** Saldırgan IoT cihazlarına fiziksel olarak zarar verir. Saldırı için IoT cihazlarının bulunduğu binaya veya alana giriş yapılması gerekmektedir. Buradaki durumda binanın güvenliği de önem arz etmektedir (Sopori, Pawar, Patil, & Ravindran, 2017).
- **Uyku Yoksunluğu Saldırısı (Sleep Deprivation):** Çoğu sensör, bataryalar, değiştirebilir piller ile çalıştırılır. Kullanılmayan sensörler, donanımlar uyku moduna geçmesi için programlanmıştır. Bu saldırıda sensörler sürekli aktif tutularak enerjinin çabuk bitmesi ve cihazın kapanması hedef alınır (Sopori, Pawar, Patil, & Ravindran, 2017).
- **Sosyal Mühendislik (Social Engineering):** Saldırgan, kullanıcıların özel bilgilerini çıkarmak için onlarla fiziksel olarak etkileşimde olmak zorundadır. Onları manipüle ederek önemli bilgileri elde eder (Atlam & Wills, 2020).

3.3.2. Yazılım Saldırıları (Software Attacks)

Herhangi bir bilgisayarlı sistemde güvenlik açığının ana kaynağı yazılım saldırılarıdır. Bu saldırılar bilgi çalabilen, verileri bozabilen, IoT sisteminin cihazlarına zarar verebilen Truva atı, solucan, virüs veya kötü amaçlı komut dosyası içerebilir (Sopori, Pawar, Patil, & Ravindran, 2017).

- **Kötü Amaçlı Komut Dosyaları (Malicious Scripts):** IoT sistemi internete bağlı bir topluluktur. Saldırgan bu özellikten faydalanarak kullanıcının bilgilerini çalmak için kötü niyetli komut dosyaları kullanır. Saldırgan burada kullanıcının güvenlik zafiyetinden faydalanarak zararlı içerikleri çalıştırmasını sağlar (Heer, ve diğerleri, 2021).
- **Kimlik Avı Saldırıları (Phishing Attacks):** Saldırgan virüslü e-postalar yada web siteleri aracılığı ile kullanıcı giriş bilgilerini ve diğer önemli bilgileri elde etmeyi amaçlamaktadır. Günümüzde özellikle internet bankacılığı, mobil bankacılık işlemlerini gerçekleştirmek için kullanıcıları kandırmak amacıyla oldukça orijinal yapıda web sayfaları ve mobil uygulamalar yapılabilmektedir.
- **Virüs, Solucan ve Casus Yazılımlar (Virus, Worms and Spyware):** Saldırgan sisteme yerleştirdiği yazılım sayesinde erişim sağlayarak bilgileri çalmayı veya sistemin kullanılabilirliğini bozmayı hedefler (Heer, ve diğerleri, 2021).
- **DoS Saldırısı (DoS Attack):** Saldırgan, uygulama katmanı aracılığı ile IoT ağında DoS saldırıları düzenleyerek ağdaki tüm kullanıcıları etkiler. Erişim yetkisi olan kullanıcıları engelleyebilir. Veri tabanında yer alan hassas bilgilere erişim sağlayabilir (Babar, Stango, Prasad, Sen, & Prasad, 2011).

3.3.3. Ağ Saldırıları (Network Attacks)

IoT sistemi, çeşitli cihazların arasında veri aktarmak için birbirine bağlı ağların bir kombinasyonudur. Ağ saldırılarında saldırıncının ağa fiziki olarak yakın olmasına gerek yoktur.

- **Trafik Analiz Saldırıları (Traffic Analysis Attacks):** Kablosuz bağlantıların izlenmesiyle önemli bilgilerin toplanmasını ifade eder. Saldırgan ağ verilerini toplar (Khou, 2011).
- **RFID Sahteciliği (RFID Spoofing):** RFID etiketinde saklanan verilerin elde edilerek, orijinal verilerin yerine saldırıncının bilgilerinin gönderildiği saldırı türüdür. Saldırgan burada kendi verilerini göndermek için orijinal etiket kimliğini kullanır ve yasal bir kullanıcı gibi tüm sisteme erişim sağlar (Mitrokovtsa, Rieback, & Tanenbaum, 2008).
- **RFID Klonlama (RFID Cloning):** Saldırgan, kullanıcının RFID etiketinden gelen bilgileri başka bir RFID etiketine kopyalar. İki farklı RFID etiketi aynı bilgilere sahip olur (Sopori, Pawar, Patil, & Ravindran, 2017).
- **RFID Yetkisiz Erişim (RFID Unauthorized Access):** Kimlik doğrulama tekniklerinin olmaması nedeniyle izinsiz girişlerin kolayca yapılmasını ifade eder. Bu şekilde saldırıncı, RFID etiketlerdeki bilgileri okuyabilir, değiştirebilir ve silebilir (Uttarkar & Kulkarni, 2014).
- **Sinkhole Saldırısı (Sinkhole Attack):** Verilerin gizliliğini hedefler ve ağ içinde tüm paketleri iletmek yerine atarak, ağın işleyişini bozar (Raju & Parwekar, 2016).
- **MITM Saldırısı (MITM Attack):** İletişim kuran düğümler arasına kötü niyetli bir düşüm koyarak, aralarındaki trafiği izlemek ve engellemek için kullanılır. IoT sisteminin ağ iletişim protokollerine bağlı olarak gerçekleştirilir, saldırıncının cihazlara fiziksel olarak yakın olmasına gerek yoktur (Padhy, Patra, & Satapathy, 2011).

- **Yönlendirme Bilgisi Saldırıları (Routing Information Attacks):** Yönlendirme tablosu bilgileri ağ tarafından kullanılmaktadır. Bu saldırıların hedefi ağ hedefini bozma, taklit etme, içeriği değiştirme amacını taşımaktadır (Mitrokotsa, Rieback, & Tanenbaum, 2008).

3.3.4. Şifreleme Saldırıları (Encryption Attacks)

IoT sisteminin bir ağ ile birbirine bağlı olduğunu bilinmektedir. Bu ağdaki cihazlar birbirleri ile iletişim kurarken şifreleme algoritmaları kullanırlar. Şifreleme saldırılarında bu algoritmaları ihlal etmek hedeflenmektedir.

- **Yan Kanal Saldırıları (Side Channel Attacks):** IoT sistemindeki veri şifreleme ve şifre çözme anahtarlarına ulaşmayı hedefler (Atlam & Wills, 2020).
- **Kriptanaliz Saldırıları (Cryptanalysis Attacks):** Saldırganın şifreli metinden yola çıkarak orijinal metini elde etmesini ve gizli anahtarları çözmesini ifade etmektedir (Sopori, Pawar, Patil, & Ravindran, 2017).
- **MITM Saldırısı (MITM Attack):** İki düğüm arasında gönderilen sinyalleri yakalayarak bu bilgilere erişim elde etmeye çalışır ve bir anahtar değişimi gerçekleştirmeye hedefler. İki düğüm birbirleri iletişim yaptığını düşünür, fakat saldırgan iki düğüm arasındaki bilgi alışverişini kontrol eder (Padhy, Patra, & Satapathy, 2011).

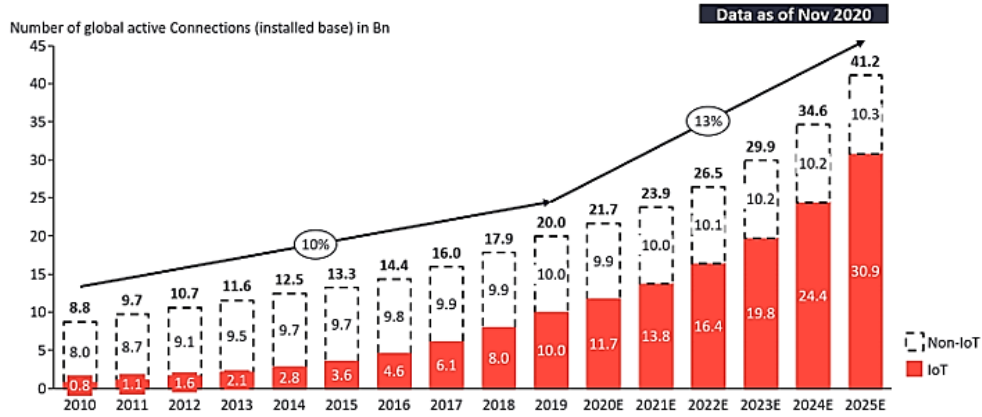
3.4. İnsan Kaynaklı Güvenlik Sorunları (Human Originated Security Issues)

3.4.1. Şifre Korumasız Cihaz Kullanma (Using a Password Unprotected Device)

Kişisel ve önemli birçok veriyi depolayan cihazlarınızı üçüncü kişilerden korumak için en temel yöntemlerden biri açılış şifresi koymaktır. Şekil 6'da gösterilen 2019 yılındaki verilerine göre 20 milyar cihaz birbiri ile iletişim halindedir. Bu sistemin içinden saldırganların elde edebileceği hassas veriler kişiler için tehlikeli sonuçlar ortaya çıkaracaktır.

Total number of device connections (incl. Non-IoT)

20.0Bn in 2019– expected to grow 13% to 41.2Bn in 2025



Şekil 3. Toplam Bağlantı Kuran Aygıtlar (Total Number of Device Connections) (IoT Analytics, 2022)

3.4.2. Yetersiz, Düşük Güvenlikli Şifreler Ayarlama (Setting Inadequate, Low-Security Passwords)

IoT cihazlarının güvenliğini artırmak için zayıf parolalar sorununu ele almak çok önemlidir. Varsayılan veya kolayca tahmin edilebilen parolalar, IoT cihazlarını Mirai ve Hajime (kötü amaçlı yazılmış botnetler) gibi kötü amaçlı yazılım saldırıları da dahil olmak üzere çeşitli siber tehditlere karşı savunmasız hale getirmektedir (McDermott vd., 2018). Hatırlanması kolay veya varsayılan parolaların kullanılması, cihazları güvenlik ihlallerine ve DDoS (Dağıtılmış Hizmet Reddi Saldırıları) gibi sofistike saldırılara maruz bırakır (Nam vd., 2020). IoT cihazlarına yetkisiz erişimi önlemek için güçlü parola yönetimi uygulamalarının hayata geçirilmesi şarttır.

Kullanıcılar gerek akılda tutulmasının kolay olması, gerek yazımının basit olması gibi nedenlerle şifrelerini kolay kırılabilir şekilde belirlemektedirler. Tablo 2'de SplashData adlı güvenlik firması ve NordPass şirketinin yaptıkları araştırmaya göre dünyada ve Türkiye'de en çok kullanılan şifreleri yer almaktadır. Görüldüğü gibi son derece zayıf şifreler birçok kişi tarafından 2022 yılında dahi kullanılmaktadır.

Tablo 2. Dünyada ve Türkiye'de En Yaygın Şifreler (Most Common Passwords in the World and Turkey) (NordPass, 2022)

Kullanılma Sıklığı	Tüm Dünya	Türkiye
1	123456	123456
2	admin	123456789
3	12345678	admin
4	123456789	12345
5	1234	12345678
6	12345	123123
7	Password	123321
8	123	turktelekom
9	Aa123456	Asd123
10	1234567890	superonlie

3.4.3. Kullanıcının Bilgi Eksikliği (User's Lack of Knowledge)

IoT cihazlarının çok yaygın olması doğru kullanıldığı anlamını taşımamaktadır. Birçok kullanıcı cihazlarını kullanırken hala zorluk yaşamaktadır. Bu da maalesef güvenlik açıklarını meydana getirmektedir. Kullanıcılar hala açılış ekranlarına şifre koymamakta, güvenlik yamalarının ne işe yaradığını bilmemekte, cihazları kullanırken fiziksel olarak onlara zarar vermekte ve kamuya açık alanlarda gerekli güvenlik tedbirlerini almadan dosya ve bilgi paylaşımı yapmaktadırlar. Özellikle Türkiye'deki çocukların bilişim okuryazarlığına baktığımızda %46'sının nasıl güvenli bir şekilde bilgi paylaşımı yapacaklarını bilmedikleri ortaya koyulmuştur (Çağıltay, ve diğerleri, 2011)

3.4.4. Fiziksel Tehditlere Karşı Önlem Almama Çalınma, Elektrik Arızası vb. (Not Taking Precautions Against Physical Threats Theft, Electrical Failure Etc.)

Theguardian'da yayınlanan verilere göre en çok çalınan eşyalar arasında cüzdan ve paradan sonra elektronik eşyalar gelmektedir (Theguardian, 2010). Günümüzde özellikle çip krizinin de yaşanmasıyla birlikte elektronik cihazların fiyatları oldukça artmıştır. Erişimlerinin kolay olması ve güvenlik önlemlerinin yetersiz olması durumunda cep telefonları, dizüstü bilgisayarlar, tabletler, dijital kameralar, modemler de kolayca çalınabilmektedir. Bunun yanı sıra güç beslemelerinin yetersiz kalması durumunda, şebeke elektriğindeki dalgalanmalar nedeniyle elektronik aksamın arıza vermesi de olası bir durumdur.

3.4.5. Korsan Yazılım Kullanma (Using Pirated Software)

Korsan yazılım kullanımı bireyler ve kuruluşlar için önemli tehlikeler ve riskler oluşturmaktadır. Korsan yazılımlar genellikle kritik güvenlik yamaları ve güncellemelerinden yoksundur, bu da onları siber saldırılara ve kötü amaçlı yazılım bulaşmalarına karşı daha savunmasız hale getirir (Kim vd., 2014).

BSA'nın (Business Software Alliance) raporlarına göre kullanılan yazılımların %49'unun gerçek olduğu, %51'inin sahte olduğunu tahmin edilmektedir (1995 yılından itibaren rapor tutulmaya başlanmıştır). Lisansı illegal yollar ile kaldırılan yazılımların içinde Truva atları, solucanlar, botnetler yer alabilmektedir.

Sonuç olarak, korsan yazılım kullanımı sadece güvenlik açıkları ve destek eksikliği nedeniyle teknik riskler oluşturmakla kalmamakta, aynı zamanda fikri mülkiyet hakları ve yazılım geliştiricileri için ekonomik sonuçlara ilişkin etik endişeleri de beraberinde getirmektedir. Kurumlar ve bireyler bu riskleri azaltmak ve dijital ortamda yasal ve etik standartları korumak için yasal yazılım kullanımına öncelik vermelidir.

3.4.6. Güncellemeleri Zamanında Yapmama (Not Making Updates On Time)

IoT cihazlarını zamanında güncellemek, güvenliği korumak ve olası riskleri azaltmak için çok önemlidir. IoT cihazlarının zamanında güncellenmemesi, bu cihazları güvenlik ihlallerine ve saldırılara karşı savunmasız bırakabilmektedir. Araştırmacılar, IoT cihazlarının genellikle saldırganlar tarafından istismar edilebilecek güvenlik açıklarına maruz bırakıldığını vurgulamışlardır (Zhang vd. 2014). Bu güvenlik açıkları, cihazlar en son güvenlik yamaları ve yazılım güncellemelerini zamanında yapılmadığında daha da kötüleşebilmektedir. (Zandberg vd., 2019).

Kullanıcıların yapabileceği en büyük IoT güvenlik hatalarından biri, cihazlarını en yeni yazılım ve güvenlik yamaları ile düzenli olarak güncellememeleridir. Birçok IoT cihazı sahibi için, güncelleme süreci veya güncellenmenin önemi göz ardı edilebilir. Ancak, bu basit hatanın ciddi sonuçları olabilir. Güncellemelerin ihmal edilmesi, bilgisayar korsanlarının, cihazlardaki zayıf noktaları tespit edip istismar etmelerini kolaylaştırabilir. Sonuç olarak, kullanıcılar güncelleme yapmamakla sadece cihazlarının güvenliğini riske atmakla kalmaz, aynı zamanda maddi ve itibari zararlara da yol açabilirler. Bu nedenle, düzenli güncellemelerin sağlanması ve güvenlik yamalarının uygulanması, IoT cihazlarının güvenliğini korumak için kritik bir adımdır.

3.4.7. Güvenilir Olmayan Kaynaklardan Uygulama/Yazılım Yükleme (Installing Applications/Software from Untrusted Sources)

Güvenilir olmayan kaynaklardan uygulama veya yazılım yüklemek kullanıcılar ve cihazları için önemli tehlikeler oluşturmaktadır. Kullanıcılar güvenilir olmayan kaynaklardan yazılım indirdiklerinde, kendilerini kötü amaçlı yazılım enfeksiyonları, veri ihlalleri ve gizlilik ihlalleri dahil olmak üzere çeşitli risklere maruz bırakırlar. Kötü niyetli üçüncü taraf uygulamaları, cihazın güvenliğini ve kullanıcının hassas bilgilerini tehlikeye atabilecek casus yazılım içerebilmektedir. Bu uygulamalar aynı zamanda kullanıcı gizliliğinin ortadan kaldırılması için bir kaynak görevi görerek potansiyel kimlik hırsızlığına veya kişisel verilere yetkisiz erişime yol açabilmektedir (Gómez-Hernández vd., 2021).

Mobil işletim sistemlerinin uygulama indirme merkezlerinin dışında herhangi bir kaynaktan indirilen uygulamalar cihazınız için tehdit oluşturmaktadır. Virüsler kolaylıkla bulaşmakta, bozuk dosyalar bozulmakta, bu bozuk dosyalar cihazın doğru çalışmasını engellemektedir, son adımda da kişisel bilgileriniz çalınabilmektedir. Aynı zamanda uygulama yüklerken verilen izinler kontrol edilmediği durumlarda kullanıcının isteği dışında verileriniz üçüncü kişilerin eline geçebilmektedir.

3.4.8. Varsayılan Kullanıcı Adı ve Şifreleri Değiştirmeme (Not Changing Default Usernames and Passwords)

IoT cihazları genellikle varsayılan veya zayıf şifreler nedeniyle zayıf korumadan muzdariptir ve bu da onları siber saldırılara karşı savunmasız hale getirir (Husztı vd., 2022). Üreticilerin güvenli parola yönetimi yönergeleri sağlamaları ve parolalar gibi hassas bilgileri kamuya açık belgelerde paylaşmaktan kaçınmaları gerekir (Karam, 2022). Dağıtılmış saldırı tespit sistemlerinin uygulanması, varsayılan parolalar gibi temel sorunlardan kaynaklanan güvenlik açıklarının tespit edilmesine ve azaltılmasına yardımcı olabilir (Kfourı vd., 2019).

Yeni alınan cihazların ayarlarını değiştirmek için şirketler tarafından oluşturulmuş varsayılan kullanıcı adı ve şifreleri vardır. Giriş seviyesinde güvenlik sunan bu ayarların mutlaka güncellenip, güçlü parolalar ile korunması gerekmektedir. Aksi halde saldırılar karşısında hızlı bir şekilde cihaz devre dışı bırakılıp, korsanların bilgileri ele geçirmesi kolaylaşacaktır.

3.4.9. Kamuya Açık Alanlarda Cihazların Wi-Fi ve Bluetooth Araçlarını Açık Tutma (Keeping Devices Wi-Fi and Bluetooth Tools On in Public Spaces)

Kalabalık mekanlar olan kafelerde, sinemalarda, okullarda ya da herkesin bulunduğu açık alanlarda cep telefonlarının, tabletlerin, diz üstü bilgisayarların aktif durumda olan Wi-Fi ve bluetooth iletişim araçları kullanıcı için tehlike barındırmaktadır. İzinsiz bağlantılar nedeniyle istenmeyen yazılımlar IoT cihazlarına yüklenmekte ve güvenlik zafiyeti oluşturmaktadır.

5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Teknoloji geliştikçe insanların kullanması için birçok elektronik cihaz üretilmiştir. Bununla beraber bu cihazların insanlar tarafından kullanılması aynı hızda gerçekleşmemiştir. Özellikle IoT cihazlarının kullanımı ve insanlardan kaynaklanan kullanım hataları her geçen gün artmaktadır. Bu sistemleri kullanan kullanıcıların, bu konulardaki zafiyetlerinden dolayı bu cihazlara karşı hırsızların, saldırganların ya da kötü niyetli diğer kullanıcıların saldırıları giderek artması kaçınılmazdır. Her geçen gün kullanıcılar tarafından bilerek ya da bilmeyerek açığa çıkan güvenlik zafiyetlerinden dolayı kişisel veriler saldırganlar tarafından çalınmakta, işlenmekte ve değiştirilmektedir. Bu nedenlere bağlı olarak oluşan güvenlik sorunlarının oluşabilmesi için artık fiziksel olarak kullanıcılara veya cihazlara yakın olmaya dahi gerek duyulmamaktadır. Sonuç olarak internete bağlı olan her cihaz güvenlik önlemleri alınmadığı takdirde tehlike altındadır. Bu konularda kullanıcılarda güvenlik farkındalığının artırılması, kullanıcıların bilgilendirilmesi ve farkındalık eğitimlerinin düzenli olarak verilmesi gerekmektedir.

Kullanıcılar tarafından bireysel olarak alınabilecek önlemler kapsamında; bilgisayarların, IoT cihazlarının, modemlerin, cep telefonlarının vb. cihazların varsayılan ayarlarının değiştirilmesi önemlidir. Varsayılan olarak gelen ağ adları kişisel olarak adlandırılmalı, güçlü parolalar oluşturulmalı ve sık sık parolalar değiştirilmelidir. Bu şekilde alınan önlemler ile saldırganların elektronik cihazlara, IoT sistemlerine erişimleri zorlaşacaktır. Ayrıca eve gelen misafirler ve farklı kullanıcılar için farklı bir kısıtlı ağ tanımlaması yapılabilir. Böylece hassas veriler tehlikeye atılmadan ağ paylaşımı yapılarak koruma sağlamak mümkün hale gelebilir. Açılış parolaları, BIOS şifresi gibi başlangıç seviye güvenlik önlemlerinin alınması gerekmektedir. IoT sistemlerinde kullanılan firewall güncellemeleri zamanında yapılmalı ve güvenlik yamaları takip edilmelidir. Lisanslı yazılımlar tercih edilmeli, korsan yazılımlar ve bilinmeyen uygulamaları kullanmaktan kaçınılmalıdır. Lisansız yazılımların içinde bilinmeyen zararlı kodların olması mümkündür ve bunların kullanılmaması gerekmektedir. Kaynağı bilinmeyen

sitelerden herhangi bir dosya indirilmemeli ve kullanılması engellenmelidir. Tüm cihazlarda açık olan Wi-Fi, Zigbee ve bluetooth özelliği kullanıcılar tarafından kullanılmadığı durumlarda kapatılmalıdır. Bu tür önlemlerin alınması durumunda hem kullanılan cihazların ve sistemlerin enerji tüketmesi önlenecek, hem de bulunulan ağa izinsiz erişim sağlamak isteyen saldırganlar engellenecektir.

IoT sistemi ile bilgi paylaşımının tüm cihazlar arasında yapmak mümkündür. İnternete bağlı her cihaza bağlanarak iş ve işlemleri yürütmek kolaylaşmıştır. Önemli nokta kullanıcıların ve elektronik araçların güvenliğini sağlayabilmektir. Bu çalışmanın sonucuna bağlı olarak IoT cihazlarının genel kullanımı ile ilgili, son kullanıcılara yönelik görseller hazırlanmalı, güvenliğini sağlamaya yönelik farkındalıklar oluşturulmalıdır. Okullarda bilişim teknolojileri ders içeriğine saldırı yöntemleri ve güvenlik önlemleri ile ilgili daha geniş bir konu eklenmeli, kamu spotları ile siber güvenliğin önemi vurgulanmalıdır. IoT cihazları ürün kullanım kılavuzlarına siber güvenlik konuları daha belirgin şekilde eklenmelidir. Özellikle siber güvenlik farkındalığının artırılması için kurum ve kuruluşlarda hizmet içi eğitimlere önem verilmelidir. Böylelikle son kullanıcılardan kaynaklanacak hatalar minimum seviyeye indirilebilir.

İncelenen çalışmalarda belirtilen ve sıkça karşılaşılan güvenlik açıklarından olan zayıf şifreleme, standart kullanıcı adı ve şifreler, güncelleme ve yama eksikliği, kötü tasarım ve uygulama hataları, zayıf ağ güvenliği, fiziksel güvenlik zafiyetleri gibi tehditlere karşı kullanıcılar ve IoT üretimi yapan şirketler mutlaka hazırlıklı olmalıdır. Kullanıcılar güçlü şifreleme ve anahtar yönetimi kullanmalı, varsayılan kimlik bilgilerini mutlaka değiştirmelidirler. Şirketler düzenli olarak açıklara karşı güncelleme ve yamaları yayınlamalı, kullanıcılar güncel yazılımları kullanmalıdırlar. Güvenlik yazılımı firmaları sızma testleri ve denetimlerini sık sık yapmalıdırlar, gerekli önlemleri testlere göre yayınlamalıdırlar. Kullanıcılar IoT cihazlarının çalınmaya, donanımsal hasara uğramaya, farklı kötü amaçlı sensörler yerleştirilmesini önlemeye yönelik fiziksel güvenliklerini sağlamalıdır.

Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışma Karabük Üniversitesi Lisansüstü Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği tez çalışması kapsamında hazırlanmıştır.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması yoktur. There is no conflict of interest between the authors.

Kaynaklar (References)

- Ahmed, K., Tahir, M., Habaebi, M., Lau, S., & Ahad, A. (2021). Machine learning for authentication and authorization in iot: taxonomy, challenges and future research direction. *Sensors*, 21(15), 5122. <https://doi.org/10.3390/s21155122>
- Atlam, H. F., & Wills, G. (2020). IoT Security, Privacy, Safety and Ethics. In *Digital Twin Technologies and Smart Cities* (pp. 123-149). Switzerland: Springer. doi:10.1007/978-3-030-18732-3_8
- Aytekin, A., Ayaz, A., Tüminçin, F., & Bektaş, E. (2019). Mobil Cihazları Etkileyen Zararlı Yazılımlar ve Korunma Yöntemleri. *SADAB 5th International Social Research and Behavioral Sciences Symposium*, (p. 244252). Tiflis, Gürcistan.
- Babar, S., Stango, A., Prasad, N., Sen, J., & Prasad, R. (2011). Proposed embedded security framework for Internet of Things (IoT). *2nd International Conference on Wireless Communication, Vehicular Technology, Information Theory and Aerospace & Electronic Systems Technology (Wireless VITAE)* (pp. 1-5). Chennai, Hindistan: IEEE. doi:10.1109/WIRELESSVITAE.2011.5940923
- BTK. (2019, Haziran 12). <https://internet.btk.gov.tr/kisisel-veriler-ve-kisisel-bilgi-guvenligi>. Retrieved 01 05, 2022, from <https://internet.btk.gov.tr/>.
- Chong, I., Xiong, A., & Proctor, R. W. (2019). Human Factors in the Privacy and Security of the Internet of Things. *Ergonomics in Design*, 510. doi:10.1177/1064804617750321
- Columbus, L. (2018, Haziran 6). 10 Charts That Will Challenge Your Perspective Of IoT's Growth. Retrieved from Forbes: <https://www.forbes.com/sites/louiscolombus/2018/06/06/10-charts-that-will-challenge-your-perspective-of-iots-growth/?sh=307fc3943ecc>
- Çağiltay, K., Bayzan, Ş., Karakuş, Y. T., Kaşıkçı, D. N., Kurşun, E., & Cankar, İ. (2011). The Use Of Social Networks Among Children in Turkey. *EU Kids Online 2 Final Conference*. Londra.
- Deogirikar, J., & Vidhate, A. (2017). Security attacks in IoT: A survey. *Proceedings of the International Conference on IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud, I-SMAC 2017* (pp. 32-37). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. doi:10.1109/I-SMAC.2017.8058363
- Guo, C. and Li, D. (2021). Iot security privacy protection mechanism and mechanical structure design simulation optimization. *Eurasip Journal on Advances in Signal Processing*, 2021(1). <https://doi.org/10.1186/s13634-021-00737-3>
- Heer, T., Garcia-Morchon, O., Hummen, R., Keoh, S. L., Kumar, S. S., & Wehrle, K. (2021). Security Challenges in the IP-based Internet of Things. *Wireless Personal Communications*, 527-542. doi:<https://doi.org/10.1007/s11277-011-0385-5>
- Husztı, A., Kovács, S. & Oláh, N. Scalable, password-based and threshold authentication for smart homes. *Int. J. Inf. Secur.* 21, 707–723 (2022). <https://doi.org/10.1007/s10207-022-00578-7>
- IoT Analytics. (2022, Ocak 10). Retrieved from <https://iot-analytics.com/>: <https://iot-analytics.com/wp/wp-content/uploads/2020/11/IoT-connections-total-number-of-device-connections-min.png>

- ITU. (2012, 06 15). Overview of the Internet of things. Series Y: Global Information Infrastructure, Internet Protocol Aspects And Next-Generation Networks. ITU-T.
- J. A. Gómez-Hernández, J. Camacho, J. A. Holgado-Terriza, P. García-Teodoro and G. Maciá-Fernández, "ARANAC: A Bring-Your-Own-Permissions Network Access Control Methodology for Android Devices," in *IEEE Access*, vol. 9, pp. 101321-101334, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3097152.
- K. Zandberg, K. Schleiser, F. Acosta, H. Tschofenig and E. Baccelli, "Secure Firmware Updates for Constrained IoT Devices Using Open Standards: A Reality Check," in *IEEE Access*, vol. 7, pp. 71907-71920, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2919760.
- Karam, A. (2022). Investigating the importance of ethics and security on internet of medical things (iomt). *International Journal of Computations Information and Manufacturing (Ijcm)*, 2(2). <https://doi.org/10.54489/ijcm.v2i2.114>
- Kfourri, G. d. O., Gonçalves, D. R., Dutra, B. V., Alencastro, J. F. d., Filho, F. L. d. C., Martins, L. M. C. e., ... & Sousa, R. T. d. (2019). Design of a distributed hids for iot backbone components. *Communication Papers of the 2019 Federated Conference on Computer Science and Information Systems*. <https://doi.org/10.15439/2019f329>
- Khoo, B. (2011). RFID as an Enabler of the Internet of Things: Issues of Security and Privacy. 2011 International Conference on Internet of Things and 4th International Conference on Cyber, Physical and Social Computing (pp. 709-712). Dalian, Çin: IEEE. doi:10.1109/iThings/CPSCom.2011.83
- Kim, D., Moon, J., Cho, S., Choi, J., Park, M., & Chung, L. (2014). A birthmark-based method for intellectual software asset management.. <https://doi.org/10.1145/2557977.2558062>
- Kumar, S., & Deora, S. S. (2021). Security Challenges and Issues in IoT. 6. *IEEE International Conference on Signal Processing, Computing and Control (ISPCC 2k21)* (pp. 171-175). Solan: IEEE. doi:10.1109/ISPCC53510.2021.9609486
- Li, S., Xu, L., & Zhao, S. (2014). The internet of things: a survey. *Information Systems Frontiers*, 17(2), 243-259. <https://doi.org/10.1007/s10796-014-9492-7>
- McDermott, C. D., Majdani, F., & Petrovski, A. V. (2018). Botnet Detection in the Internet of Things using Deep Learning Approaches. 2018 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN) (s. 1-8). Rio de Janeiro: IEEE.
- Mitrokotsa, A., Rieback, M. R., & Tanenbaum, A. S. (2008). Classification of RFID Attacks. 10th International Conference on Enterprise Information Systems (pp. 73-86). Barcelona, İspanya: INSTICC Press.
- Monia, Sharma, N., & Dhir, R. (2021). Fog computing: An overview of IoT applications with security issues and challenges. 9th International Conference on Reliability, Infocom Technologies and Optimization (Trends and Future Directions) (ICRITO) (pp. 1-8). Noida: IEEE. doi:10.1109/ICRITO51393.2021.9596158
- Nam, S., Jeon, S., Kim, H., & Moon, J. (2020). Recurrent gans password cracker for iot password security enhancement. *Sensors*, 20(11), 3106. <https://doi.org/10.3390/s20113106>
- NordPass. (2021). Retrieved 12 25, 2021, from <https://nordpass.com/>: <https://nordpass.com/most-common-passwords-list/>
- Padhy, R. P., Patra, R. P., & Satapathy, S. (2011). Cloud Computing: Security Issues and Research Challenges. *IRACST - International Journal of Computer Science and Information Technology & Security (IJCSITS)*, 1(2), 136-146.
- Raju, I., & Parwekar, P. (2016). Detection of Sinkhole Attack in Wireless Sensor Network. *Proceedings of the Second International Conference on Computer and Communication Technologies* (pp. 629-636). Delhi: Springer, New Delhi. doi:https://doi.org/10.1007/978-81-322-2526-3_65
- Said, Z. and Zolkipli, M. (2022). Internet of things (iot): a study of security issues and challenges. *International Journal of Recent Contributions From Engineering Science & It (Ijes)*, 10(02), 16-31. <https://doi.org/10.3991/ijes.v10i02.29301>
- Sopori, D., Pawar, T., Patil, M., & Ravindran, R. (2017, Mart). Internet of Things: Security Threats. *International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology (IJARCET)*, 6(3), 263-267.
- Statista. (2021, Haziran 22). IoT spending by vertical worldwide. Retrieved from Statist: <https://www.statista.com/statistics/666864/iot-spending-by-vertical-worldwide/>
- Şen, Ş., & Yerlikaya, T. (2013). ISO 27001 Kurumsal Bilgi Güvenliği Standardı. *Akademik Bilişim 2013* (pp. 677-681). Antalya: Akdeniz Üniversitesi.
- TDK. (2021, 12 25). Türk Dil Kurumu Sözlükleri. Retrieved from <https://sozluk.gov.tr/>
- Theguardian. (2010). Retrieved 01 10, 2022, from <https://www.theguardian.com/>: <https://www.theguardian.com/news/datablog/2010/oct/22/burglary-statistics-police-crime-data>
- Toutsop, O., Das, S., & Kornegay, K. (2021). Exploring The Security Issues in Home-Based IoT Devices Through Denial of Service Attacks. 2021 IEEE SmartWorld, Ubiquitous Intelligence & Computing, Advanced & Trusted Computing, Scalable Computing & Communications, Internet of People and Smart City Innovation (SmartWorld/SCALCOM/UIC/ATC/IOP/SCI) (pp. 407-415). Atlanta: IEEE. doi:10.1109/SWC50871.2021.00062
- Uludağ, M. H., & Uçar, A. (2018). Nesnelerin İnterneti (IoT) ile Akıllı Sınıf ve Öğrenci Takip Sistemi Tasarımı. *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 591-600. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/532378>
- Uttarkar, R., & Kulkarni, R. (2014). Internet of Things: Architecture and Security. *International Journal of Computer Application*, 3(4), 12-17.
- Uyanık, A. S., Gökdemir, A., Karayığit, H., & Yücel, R. T. (2020). BİLİŞİM TEKNOLOJİLERİNİN TEMELLERİ 9. Ankara: Milli Eğitim Bakanlığı.
- Xu, H. (2021). Key technologies of Secure Multi-Party Computing for Perceived Data Transmission in Internet of Things. *International Journal of Frontiers in Engineering Technology*, 3(5).
- Z. -K. Zhang, M. C. Y. Cho, C. -W. Wang, C. -W. Hsu, C. -K. Chen and S. Shieh, "IoT Security: Ongoing Challenges and Research Opportunities," 2014 IEEE 7th International Conference on Service-Oriented Computing and Applications, Matsue, 2014, pp. 230-234, doi: 10.1109/SOCA.2014.58.
- Zanella, A., Bui, N., Castellani, A., Vangelista, L., & Zorzi, M. (2014). Internet of things for smart cities. *Ieee Internet of Things Journal*, 1(1), 22-32. <https://doi.org/10.1109/jiot.2014.2306328>



INTELLIGENT METHODS IN CYBER DEFENCE: MACHINE LEARNING BASED PHISHING ATTACK DETECTION ON WEB PAGES

Remzi GÜRFİDAN*

Isparta University of Applied Sciences, Yalvaç VSTS, Department of Computer Programming, Isparta, Türkiye

Keywords

*Phishing Attack,
Cyber Security,
Machine Learning,
Web Site Phishing Attack
Detection,
Extra Trees.*

Abstract

Phishing attack on web pages is a type of malicious attack that aims to steal personal and sensitive information of internet users. Phishing attacks are usually conducted through various communication channels such as email, SMS, social media messages or websites. Users are directed to fake web pages of trusted organizations such as government agencies, banks, online shopping sites, etc. and asked to enter their personal information. These fake web pages may look remarkably like the original sites and are designed to mislead users. In this study, we used machine learning methods to detect the phishing attack threat of web pages and made significant progress in this area. Extensive analysis of six different machine learning algorithms showed that the Extra Trees algorithm yielded the most successful results. To further improve this success, we fine-tuned the Extra Trees algorithm and increased the correct classification success to 97.9%. In future studies, we would like to expand the dataset to include other machine learning methods to investigate the use of this technology in areas such as malware detection or the prevention of phishing attacks. This would be a crucial step towards providing more comprehensive protection in the field of cybersecurity.

SİBER SAVUNMADA AKILLI YÖNTEMLER: WEB SAYFALARINDA MAKİNE ÖĞRENİMİ TABANLI KİMLİK AVI TESPİTİ

Anahtar Kelimeler

*Phishing saldırısı,
Siber Güvenlik,
Makine Öğrenmesi,
Web Site Phishing Saldırı
Tespiti,
Extra Trees.*

Öz

Web sayfalarında ortalama saldırısı, internet kullanıcılarının kişisel ve hassas bilgilerini çalmayı amaçlayan kötü niyetli bir saldırı türüdür. Ortalama saldırıları genellikle e-posta, SMS, sosyal medya mesajları veya web siteleri gibi çeşitli iletişim kanalları aracılığıyla gerçekleştirilir. Kullanıcılar devlet kurumları, bankalar, çevrimiçi alışveriş siteleri gibi güvenilir kuruluşların sahte web sayfalarına yönlendirilir ve kişisel bilgilerini girmeleri istenir. Bu sahte web sayfaları orijinal sitelere oldukça benzeyebilir ve kullanıcıları yanıltmak için tasarlanmıştır. Bu çalışmada, web sayfalarının kimlik avı tehdidini tespit etmek için makine öğrenimi yöntemlerini kullandık ve bu alanda önemli bir ilerleme kaydettik. Altı farklı makine öğrenimi algoritmasının kapsamlı analizi, Extra Trees algoritmasının en başarılı sonuçları verdiğini gösterdi. Bu başarıyı daha da artırmak için Extra Trees algoritmasında ince ayarlar yaptık ve doğru sınıflandırma başarısını %97,9'a çıkardık. Gelecekteki çalışmalarda, bu teknolojinin kötü amaçlı yazılım tespiti veya kimlik avı saldırılarının önlenmesi gibi alanlarda kullanımını araştırmak için veri kümesini diğer makine öğrenimi yöntemlerini içerecek şekilde genişletmek istiyoruz. Bu, siber güvenlik alanında daha kapsamlı koruma sağlamaya yönelik çok önemli bir adım olacaktır.

Alıntı / Cite

Gürfidan, R., (2024). Intelligent Methods in Cyber Defence: Machine Learning Based Phishing Attack Detection on Web Pages, *Journal of Engineering Sciences and Design*, 12(2), 416-429.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

R. Gürfidan, 0000-0002-4899-2219

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	26.03.2024
Revizyon Tarihi / Revision Date	14.05.2024
Kabul Tarihi / Accepted Date	11.06.2024
Yayın Tarihi / Published Date	30.06.2024

* İlgili yazar / Corresponding author: remzigurfidan@isparta.edu.tr, +90-246-441-5300

INTELLIGENT METHODS IN CYBER DEFENCE: MACHINE LEARNING BASED PHISHING ATTACK DETECTION ON WEB PAGES

Remzi Gürfidan[†]

Isparta University of Applied Sciences, Yalvaç VSTS, Department of Computer Programming, Isparta, Türkiye

Highlights

- A method for detecting and preventing phishing attack threats in web pages is proposed.
- An alternative machine learning based cyber security tool is developed.
- An existing machine learning algorithm was fine tuned for the dataset to improve its performance.

Graphical Abstract

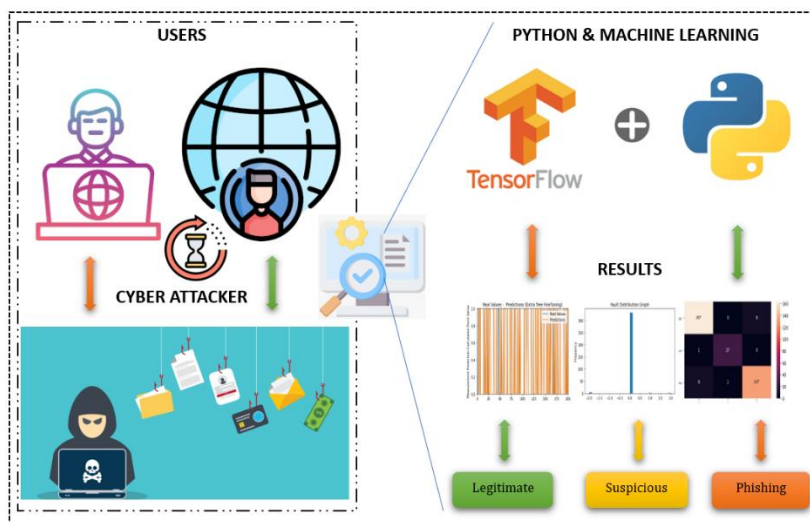


Figure. Graphical abstract of the process of the work

Purpose and Scope

Classifying, Detecting and Preventing Phishing Attacks on Web Pages.

Design/methodology/approach

To achieve the objectives, the usable dataset was chosen, and machine learning methods were utilised. In order to increase the success of the classification process, hyperparameter optimisation was performed and high accuracy was achieved.

Findings

The Extra Trees algorithm showed the most successful results with 88% successful classification. This rate was increased to 97% with fine tuning.

Research limitations/implications

This study is limited to the current dataset and the success of the machine learning methods used. In future studies, the dataset will be expanded, and different machine learning methods will be used to achieve higher success.

Social Implications

The findings of the present study are quite satisfactory. It is aimed to integrate the machine learning model into a software to be developed in the future and turn it into a real-time application. In this way, warning and prevention activities can be conducted when visitors visit sites that contain Phishing attack danger.

Originality

When this study is embedded and activated in a real-time application, it will be effective in protecting people with limited security knowledge about internet use and in the security of standard users. In addition, an alternative cyber security tool based on machine learning is proposed.

[†] Corresponding author: remzigurfidan@isparta.edu.tr, +90-246-441-5300

1. Introduction

Internet fraud is a type of offence that has emerged because of modern technological developments and aims to obtain personal information, material resources or property unfairly by abusing the online environment. Such offences are usually committed by hackers or other malicious persons and are conducted by various methods (Balogun, Akande, et al., 2021; Balogun, Mojeed, et al., 2021). Internet fraudsters operate by using various fraudulent tactics by gain phishing attacking or misleading the trust of users. One of the most common methods in this context is sending fake e-mails, a type of so-called "phishing". Phishing attack aims to capture users' personal information through fake emails, usually mimicking the name of an official organisation or service. These phony emails could include links in them that request personal data from recipients, such as credit card numbers, usernames, and passwords. Furthermore, the creation of fictitious websites is another often used technique in online fraud. Fraudsters can create fake websites by imitating a respectable and well-known company or organization in order to collect user data or install malicious software (malware). Often, these fake websites mimic real websites in an attempt to deceive users. Identity theft is another way that fraud is committed online. The act of getting someone's personal information—such as name, address, date of birth, or social security number—and using it for illegal activities is known as identity theft. Scammers can use this information to open false accounts, apply for credit cards, and commit other crimes. Ransomware, social engineering, and spoof websites are some other techniques used in online fraud. Every one of these methods puts users' privacy at risk and has the potential to cause serious ethical and financial problems. Because of this, users must be extremely cautious while using the Internet, only depend on reliable sources of information, and strictly adhere to online security recommendations (Wu et al., 2019).

Phishing attack is a cyber security risk that increases consumers' risk of having their information stolen (Mithra Raj & Arul Jothi, 2022). These attacks usually use bogus websites or communication methods and target the financial or personal information of their victims. Researchers and security experts have created a plethora of techniques to recognize Phishing attacks. In an attempt to differentiate between trustworthy and fake websites, users should first carefully review the URLs of any possibly dangerous websites (Jain & Gupta, 2019). Security measures such as SSL certificates and URLs beginning with the "https://" protocol are often absent from Phishing attack sites. Moreover, a thorough examination of Phishing attack websites might reveal grammatical and linguistic errors. Avoiding forms that ask for personal information is vital advice; a trustworthy website will usually provide choices for verification. Websites that request personal information from you through an information form out of the blue should cause you to be wary. Because Phishing attack websites sometimes conceal or offer erroneous information, it is especially important to verify the contact information.

People who fall victim to Phishing attack might face several risks, which could have serious consequences. The conditions surrounding people who fall victim to Phishing attack attempts may be examined from a number of perspectives, and the importance of this problem necessitates action from the individual as well as the greater society. First and foremost, there is a chance that victims of Phishing attack might lose money. Fraudsters can access victims' bank accounts, take credit card details, and use the personal information they have obtained for malicious purposes. The victims may suffer financial losses in addition to long-term financial difficulties as a result of this. In addition, Phishing attack victims could experience damage to their reputation. If the victims' compromised personal information is used maliciously, it might damage their reputation and cause a reduction in confidence in both personal and professional relationships. Phishing attacks directed at companies or professionals have the capacity to gravely damage the careers and commercial relationships of its victims. Victims of Phishing attack may also be at risk for personal safety breaches. If fraudsters use the personal information, they get to access other online accounts or services, victims' privacy can be compromised. This might make it more likely that victims would fall victim to Internet crimes like identity theft and exploitation of their personal data.

It's crucial for Internet users to recognize and avoid phishing attacks. To detect these hazards at the human and organizational levels, a variety of strategies can be used. Website Phishing attack detection is essential for user security and for encouraging responsible online behavior (Barraclough et al., 2021). Phishing attack detection on websites can help consumers recognize potential risks and increase their awareness of security concerns. This can assist users in identifying bogus websites or emails sent by fraudsters, protecting their personal information and promoting a secure online experience. Therefore, it's imperative that Internet users protect their personal information online and take preventative measures against Phishing attack schemes. Companies should also provide Phishing attack awareness training to their employees and take proactive measures to detect and prevent Phishing attack. This will ensure user security and strengthen the online environment's defenses against phishing attacks. The literature will be examined for research on Phishing attack detection and prevention, and the results will be incorporated in the second section of the study. The third section offers a thorough discussion of the data set that was used, along with an explanation of the machine learning techniques that were employed. The

outcomes and conclusions drawn from machine learning procedures are provided in the fourth part. The final part discusses how this study compares to the body of current literature and presents the study's findings.

The literature will be examined for studies on Phishing attack detection and prevention, and the results will be incorporated in the second section of the study. The third section offers a thorough discussion of the data set that was used, along with an explanation of the machine learning techniques that were employed. The outcomes and conclusions drawn from machine learning procedures are provided in the fourth part. The final section discusses how this study compares to the body of current literature and presents the study's findings.

2. Literature Survey

Using an advanced AC approach called Multi-Labelled Classifier Based Associative Classification (MCAC), Abdelhamid et al. looked into the online Phishing attack problem in their study to see whether it might be applied to the problem. Empirical findings utilizing authentic data gathered from various sources indicate that AC, particularly MCAC, identifies Phishing attack websites more accurately than other clever algorithms. Additionally, MCAC produces additional hidden information (rules) that are not discovered by other algorithms, enhancing classifier prediction performance. Using MCAC, an accuracy of about 94% was attained (Abdelhamid et al., 2014). Yi et al. largely uses a deep learning system to detect Phishing attack websites. The study begins by designing two sorts of web Phishing attack features: original and interactive elements. A detection model based on Deep Belief Networks (DBN) is presented in the ensuing section. The test, which uses actual IP streams from Internet service providers (ISPs), shows that the DBN-based detection model can achieve a true positive rate of around 90% and a false positive rate of about 0.6% (Yi et al., 2018). Ying and Xuhua suggest a novel technique that is independent of any particular Phishing attack application. The work's goal is to investigate anomalies in Web sites, namely the difference between a website's identity and its structural elements, as well as HTTP transactions. Approximately 88% success is achieved in detecting Phishing attack pages (Ying & Xuhua, 2006).

To identify online phishing attacks, Adeyemo et al. suggested employing ensemble-based Logistic Model Trees (LMT). To generate a single model tree, logistic regression and tree induction techniques are used in LMT. The testing results show that the suggested techniques, with at least 97.18% accuracy and area under curve (AUC) values of 0.996, are quite successful in identifying Phishing attack websites. Additionally, the suggested approaches perform better than a number of machine learning-based phishing attack models found in recent research. Thus, it is advised to use the provided methods to handle dynamic website phishing attacks (Adeyemo et al., 2021). Moghimi and Varjani's study introduced a brand-new rule-based technique for identifying Phishing attack scams in online banking. Two newly proposed feature sets are used for web page identification in the rule-based approach. The web pages were classified using the support vector machine (SVM) technique. Our tests demonstrate that the suggested model has an accuracy of only 0.86% for false negative alarms and 99.14% for true positives when it comes to identifying Phishing attack pages in online banking (Moghimi & Varjani, 2016). Convolutional neural networks (CNNs) are used in Yerima and Alzaylaee's high accuracy classification system, one can distinguish between authentic and fake websites. Their algorithm is trained on a dataset of 4,898 Phishing attack and 6,157 genuine websites. Our CNN-based algorithms have shown to be successful in recognizing unknown Phishing attack sites through extensive experiments. Furthermore, the CNN-based approach achieved an F1_Score of 0.976 and a Phishing attack detection rate of 98.2%, outperforming other machine learning classifiers evaluated on the same dataset (Yerima & Alzaylaee, 2020). In their work, Rashid et al. presented a successful machine learning-based Phishing attack detection method. Overall, the testing findings demonstrate that the suggested method performs best when combined with the Support vector machine classifier, correctly identifying 95.66% of Phishing attack and suitable websites with just 22.5% of the creative functionality needed. When compared to a set of common Phishing attack datasets from the "University of California Irvine (UCI)" archive, the suggested technique yields encouraging results (Rashid et al., 2020). Sahingoz et al. propose a real-time anti-Phishing attack system that employs NLP-derived features and seven distinct categorization approaches. A new dataset is generated and used to test experimental outcomes in order to gauge the system's performance. Based on comparison and experimental findings from several applicable classification methods, the Random Forest approach using only NLP-based characteristics performs best, detecting Phishing attack URLs with an accuracy of 97.98% (Sahingoz et al., 2019). Three deep learning-based methods for identifying Phishing attack websites were proposed by Alshingiti et al.: an LSTM-CNN based strategy, a CNN for comparison, and long short-term memory (LSTM) for detection. The accuracy of the suggested methodologies is demonstrated by the experimental findings, which are 99.2%, 97.6%, and 96.8% for CNN, LSTM-CNN, and LSTM, respectively (Alshingiti et al., 2023). Dhanavanthini ve Chakkravarthy uses recurrent neural networks (RNN) to deliver state-of-the-art accuracy in identifying harmful URLs. This effort aims to concentrate just on the content included in the URL, which speeds up the process and demonstrates how early detection of zero-day attacks is possible. Prior research examines URLs, traffic figures, and Internet content. The RNN in the paper is optimized to be used on small devices, such Raspberry Pis and mobile phones, without sacrificing inference time (Dhanavanthini & Chakkravarthy, 2023).

3. Material and Method

This section presents the purpose and basic mathematical calculations of the machine learning algorithms used in this study. In addition, the metrics used to determine the success of the trained machine learning models and the calculation methods of the metrics are shown. In the last sub-section of the chapter, the dataset used in this study and the features of the dataset are explained.

3.1. Extra Tree Algorithm

The Extra Trees (Extremely Randomized Trees) algorithm is a machine learning method specifically used to solve classification and regression problems. Extra Trees is a method based on decision trees. It uses many trees like the Random Forest algorithm as a working logic. In addition, unlike Random Forest, Extra Trees takes more randomness into account when constructing trees (Breiman, 2001; Geurts et al., 2006). G denotes the prediction tree. Here θ denotes a uniform independent distribution vector that is assigned before the growth of the tree. All trees are combined and averaged into a tree ensemble of $G(x)$, which is generated using the Breiman, 2001 equation (Equation 1) (Hamid et al., 2018).

$$G(x, \theta_1, \dots, \theta_2) = \frac{1}{2} \sum_{r=1}^R G(x, \theta_r) \quad (1)$$

GridSearchCV is a hyperparameter tuning method available in the scikit-learn library. It is used to experiment with various combinations of hyperparameters used to improve the performance of a model. By specifying a given hyperparameter space (parameter combinations), it evaluates the performance of the model for different combinations in that space and selects the hyperparameters that perform best. GridSearchCV tries to select the best hyperparameters by cross-validating over the specified hyperparameter combinations. In this study, the GridSearchCV method was applied to the most successful ExtraTree algorithm and the best values of the selected hyperparameters were determined. These best parameter values were then used to train the model. The tested and found hyperparameter values are shown in Table 2.

Table 2. Hyperparameters tried to be optimized and values tested

Parameters and Their Values Tested for Hyperparameter Optimization	n_estimators': [50, 100, 200] 'max_depth': [None, 10, 20, 30] 'min_samples_split': [2, 5, 10] 'min_samples_leaf': [1, 2, 4]
Hypermeter Values	max_depth': 20 'min_samples_leaf': 2 'min_samples_split': 2 'n_estimators': 100

3.2. K-Nearest Neighbours Algorithm

K-Nearest Neighbors (KNN) is an effective machine learning method that is preferred as a classification or regression solver. The algorithm uses the classes or values of the nearest neighbouring points to classify or predict a new data point. The basic principle of KNN proceeds by recognizing that data points with similar characteristics tend to have the same class or a similar value. Considering x and y as axis values, after calculating the distance, the input x is considered as the class value with the highest probability. This is calculated by Equation 2.

$$P(y = j|X = x) = \frac{1}{K} \sum_{i \in A} I(y^{(i)} = j) \quad (2)$$

3.3. Decision Tree Algorithm

A machine learning technique called the decision tree algorithm is used to predict and categorize a target variable's (dependent variable's) numerical value based on specific dataset feature values. Regression analysis using decision trees is a popular tool for identifying and visualizing patterns in data sets. Decision tree regression uses a set of criteria, like information gain, the Gini coefficient, or other measurements, to identify the optimal partition when splitting the dataset. To segment the dataset as efficiently as possible, a sequence of decisions must be made next. Decision tree regression can therefore be used to forecast the target variable and uncover intricate relationships within the dataset.

$$y(x) = f(x) - \sum_{i=1}^N c_i I(x \in R_i) \quad (3)$$

$y(x)$ is the estimated target variable value. x is the feature vector of the data point. $f(x)$ is the predicted value of the data point. N is the total number of nodes in the tree. C_i is the estimated value at the i -th node. $I(x \in R_i)$ is an indicator function that indicates whether the data point belongs to the i -th region (node). It takes the value 1 if x is in that region and 0 otherwise. R_i denotes a specific feature range of the i -th region (node).

3.4. Gradient Boosting Algorithm

Gradient Boosting is a machine learning algorithm used as a solver in classification and regression processes. This algorithm aims to create a strong learner by combining weak learners together. Gradient Boosting aims to combine weak predictors (usually decision tree type models) to create a strong prediction model. The basic principle of how this algorithm works is to correct the erroneous learning of the previous weak estimator by adding new estimators. This process affects the calculation of the weights, while the new values are determined by the loss function. Equation 4 is used for the overall model calculation.

$$\gamma_m = \arg \min_{\gamma} \sum_i^n L(y_i, F_{m-1}(x_i) + \gamma) \quad (4)$$

Here $i = 1 - n$ belongs to r_{ij} , where j represents the leaf. y is the observed value, γ is the predicted value

3.5. Random Forest Algorithm

Random Forest is a machine learning algorithm that is widely used especially in classification and regression problems. Random Forest can create a more powerful and generalizable model by combining multiple decision trees. When decision trees are configured for regression models, the average of the decision trees is the prediction value. Random Forest uses randomization to minimize the risk of overfitting. Random feature selections and random generation of data subsets make the model more diverse and generalizable. Mean square error value for Random Forest is calculated as in Equation 5.

$$RF_{MSE} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (f_i - y_i)^2 \quad (5)$$

Where N is the number of data points, f_i is the value returned by the model and y_i is the actual value for data point i .

3.6. AdaBoost Algorithm

AdaBoost (Adaptive Boosting) is an ensemble learning algorithm for building strong models. AdaBoost aims to build a stronger model by combining weak models together. The AdaBoost algorithm is an algorithm that works on weights and each weak classifier is assigned a weight. Once a classifier is trained on the weighted training set, the weights of the misclassified examples are increased, and the next classifier is trained on this updated weighted data set. This process continues until a desired number of iterations or specific learning objective is reached. Equation 6 is used for the overall model calculation. The error rate is calculated by ϵ_t , that is, It shows how well the t 'th classifier is able to correct the errors made on the weighted training data set.

$$\epsilon_t = \frac{\sum_{i=1}^N w_{i,t} \cdot 1(h_t(x_i) \neq y_i)}{\sum_{i=1}^N w_i} \quad (6)$$

It's here, The 1 function is a function that indicates whether the expression in parentheses is true (1) or false (0).

3.7. Evaluation of the models

The performance of the model is measured using error metrics, which are employed to assess the effectiveness of machine learning algorithms. These metrics aid in evaluating the degree to which a model's predictions agree with actual values and its capacity for generalization.

Mean absolute error (MAE) is a metric that shows how close the predicted values are to the true values. This metric is calculated by Equation 7 (AlOmar et al., 2020; Hammid et al., 2018; Mishra et al., 2017).

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{r=1}^n |P_d^{r,m} - P_d^{r,c}| \quad (7)$$

To compare the prediction errors of several trained models, root mean square error, or RMSE, was selected. The model's ability to forecast absolute deviation is better the closer the RMSE value is to 0. Calculating the RMSE value is done using Equation 8 (AlOmar et al., 2020; Hammid et al., 2018; Mishra et al., 2017; Willmott & Matsuura, 2005).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{r=1}^n (P_d^{r,m} - P_d^{r,c})^2} \quad (8)$$

The coefficient of determination (R²) is used to estimate model efficiency and is calculated by Equation 9 (Hammid et al., 2018).

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{r=1}^n (P_d^{r,m} - P_d^{r,c})^2}{\sum_{r=1}^n (P_d^{r,m} - P_d^{r,m})^2} \quad (9)$$

MSE either assesses the quality of an estimator. The MSE metric is calculated by Equation 10.

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{r=1}^n (P_i - P'_i)^2 \quad (10)$$

3.8. Dataset Description

The dataset used for the training of machine learning algorithms in this study is the "Website Phishing Data Set", which is available on the Kaggle platform and is openly available to users (*Website Phishing Dataset*, n.d.). There are a total of 10 features in the dataset. This dataset was created by identifying distinctive characteristics of legal and Phishing attack websites and collecting 1353 different websites from different sources. Phishing attack websites were collected from the Phishtank data archive, a free community website where anybody can upload, verify, monitor, and exchange Phishing attack data. A PHP web program was used to collect real webpages from the Yahoo and starting point directories. After installing the PHP script in a browser, 548 trustworthy websites out of 1353 were gathered. 103 dubious URLs and 702 Phishing attack URLs were found. A website is deemed to be SUSPECTED if it is thought to include both valid and Phishing attack elements. This could indicate that the website is Phishing attack or legitimate. Table 3 displays the fields that were part of the data collection that was used.

Table 3. Site characteristics in the data set

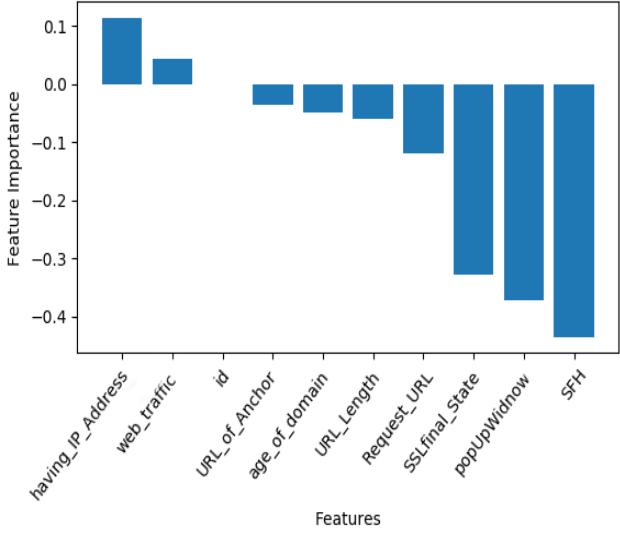
URL Anchor	Request URL	SFH
URL Length	Having '@'	Prefix/Suffix
IP	Sub Domain	Web traffic
Domain age	Class	

The importance of each feature in the data set in Phishing attack detection was analysed by defining them as items. Afterwards, the effects and importance levels of the input features on the result in the current data set were calculated and transformed into the form shown in Table 4. In this way, the input features in the data set become much more meaningful and interpretable.

- **URL:** In phishing attacks, fake websites often use similar URL structures to real sites. Therefore, careful examination of the URL will help users to recognise fake sites.
- **Anchor:** In phishing attacks, malicious links are often disguised with misleading texts. Therefore, the texts of the links should be carefully examined and evaluated whether they are reliable.
- **Request URL:** In phishing attacks, malicious content and scripts are often loaded from external sources. Therefore, attention should be paid to whether the URLs requested by a web page are reliable.
- **SFH URL Length:** Same Origin Policy URL length should be checked if a web page redirects to resources that do not belong to its domain. This may indicate a potentially malicious redirect.
- **Having '@' (Email Spoofing):** In phishing attacks, fake email addresses and sender names are used to send credible-looking messages. Therefore, it is important to carefully examine email addresses and senders.
- **Prefix/Suffix IP:** In phishing attacks, misleading connections can be created using IP addresses. For this reason, it is necessary to carefully check IP addresses and determine whether they are reliable.

- **Sub Domain:** In phishing attacks, fake websites often use subdomains similar to the main domain name. Therefore, it is important to carefully examine subdomains.
- **Web Traffic:** In phishing attacks, websites with popular and heavy traffic may be more targeted. Therefore, the traffic of a website should be carefully evaluated.
- **Domain Age:** Newly created or recently registered domains may have been created to potentially be used for Phishing attack. Therefore, the age and registration process of a website should be considered.

Table 4. Graph of the influence values and importance levels of input features on the result in the data set

Dataset Coloumn	Feature Weight	Feature Weight Graph
having_IP_Address	0.1135	
web_traffic	0.0438	
id	-	
URL_of_Anchor	-0.0352	
age_of_domain	-0.0487	
URL_Length	-0.0594	
Request_URL	-0.1204	
SSLfinal_State	-0.3267	
popUpWidnow	-0.3707	
SFH	-0.4346	

PCA (Principal Component Analysis) stands for principal component analysis. PCA is a statistical technique used to understand the relationships between variables in multivariate data sets and to express the data set with fewer variables. The numerical results and visual example obtained when PCA is applied on the dataset are shown in Figure 6 and Table 5.

Table 5. The numerical results of PCA

Features and Metrics	Values	
Variance explanation percentage (PC1)	25.91%	
Variance explanation percentage (PC2)	16.15%	
Eigenvalue of PC1	2.333	
Eigenvalue of PC2	1.454	
Component Loadings	PC1	PC2
SFH	0.46	0.27
popUpWidnow	0.35	0.22
SSLfinal_State	0.36	0.00
Request_URL	0.25	0.38
URL_of_Anchor	0.31	0.38
web_traffic	-0.40	0.53
URL_Length	0.22	0.06
age_of_domain	0.38	-0.55
having_IP_Address	0.16	-0.01

- **Variance Explanation Percentage (PC1 and PC2):**

PC1 explains 25.91% and PC2 explains 16.15% of the total dataset. PC1 explains a larger proportion of the total variance, indicating that PC1 retains more information and contains more variability.

- **Eigenvalues:**

The eigenvalue of PC1 is 2.333 and the eigenvalue of PC2 is 1.454. Eigenvalues measure the variance of each component in the original data set. Components with larger eigenvalues retain more variance.

- **Component Loadings:**

Component loadings indicate the relationship of each component to the original variables. Positive or negative loadings indicate the direction of the relationship between variables. Loadings with large absolute values indicate that the variable plays an important role in the formation of the relevant component.

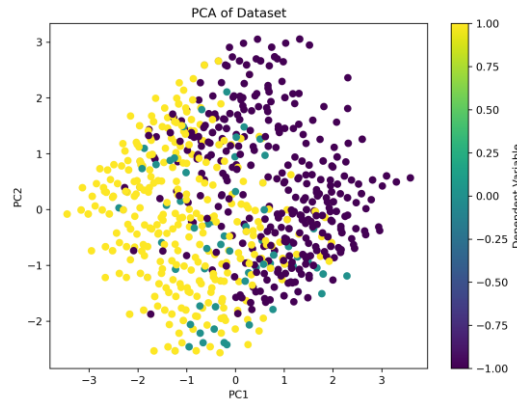


Figure 2. PCA of dataset

- Variables such as SFH, popUpWidnow, SSLfinal_State, Request_URL, URL_of_Anchor, age_of_domain have large loads in both components. These variables play an important role in the key components that make up the PCA results.
- Variables such as web_traffic, age_of_domain are positively related to PC1 and negatively related to PC2. These variables play an important role in determining the differences between PC1 and PC2.
- The loadings of variables such as having_IP_Address, SSLfinal_State are significantly less in PC2. These variables contribute less to the formation of PC2.

4. Findings and Results

Table 6 shows the error metrics and accuracy values obtained in the training of Decision Tree and Random Forest algorithms. In addition, the graph showing the similarity between the real values and the values classified by the trained model, the error distribution graphs in classification and the confusion matrix tables are shown.

Table 6. Decision Tree and Random Forest Algorithm performance

DECISION TREE ALGORITHM		RANDOM FOREST ALGORITHM	
Metric	Values	Metric	Values
MAE:	0.251	MAE:	0.211
MSE:	0.477	MSE:	0.379
RMSE:	0.691	RMSE:	0.615
Acc.:	0.862	Acc.:	0.871
Fault Distribution	<p>A histogram titled "Fault Distribution Graph" for the Decision Tree algorithm. The x-axis is "Fault Values" ranging from -2.0 to 2.0. The y-axis is "Frequency" ranging from 0 to 175. The distribution is highly peaked at 0.0, with a frequency of approximately 175. There are very low frequencies at -2.0 and 2.0.</p>	Fault Distribution	<p>A histogram titled "Fault Distribution Graph" for the Random Forest algorithm. The x-axis is "Fault Values" ranging from -2.0 to 2.0. The y-axis is "Frequency" ranging from 0 to 175. The distribution is highly peaked at 0.0, with a frequency of approximately 175. There are very low frequencies at -2.0 and 2.0.</p>

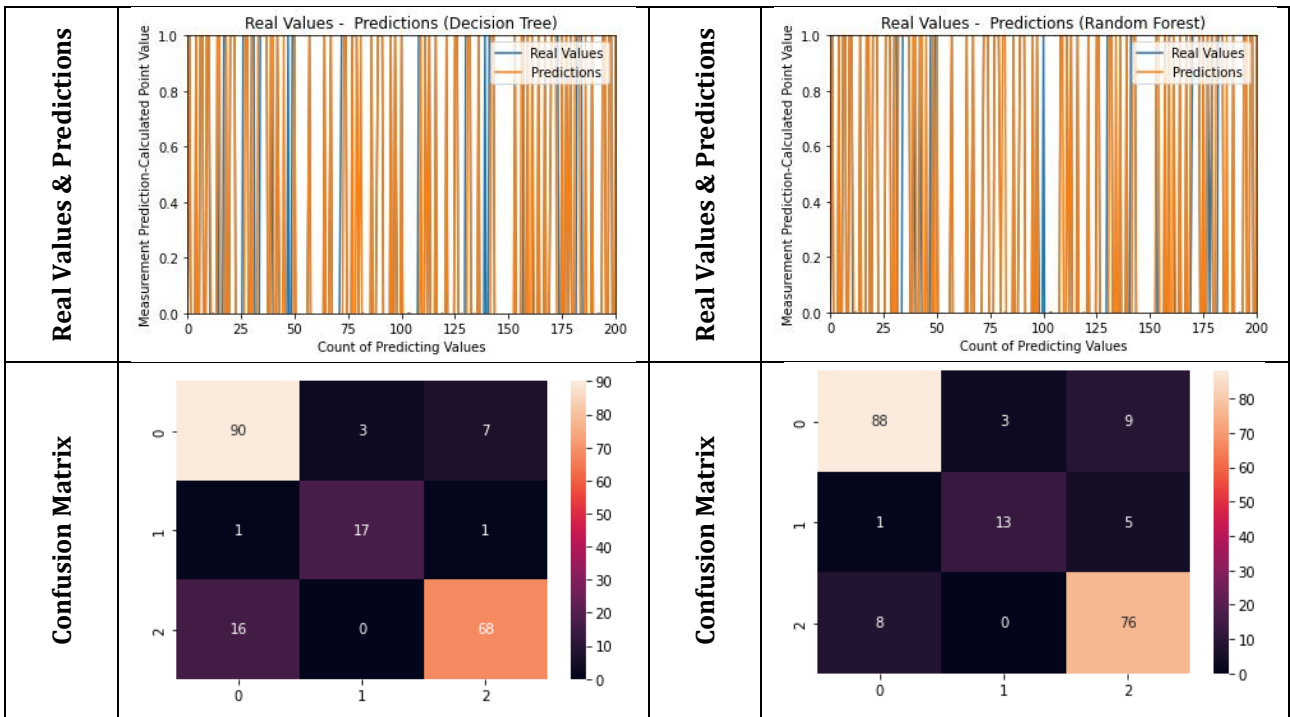


Table 7 shows the error metrics and accuracy values obtained in the training of AdaBoost Classifier and KNN algorithms. In addition, the graph showing the similarity between the real values and the values classified by the trained model, the error distribution graphs in classification and the confusion matrix tables are shown.

Table 7. AdaBoost Algorithm and KNN Algorithm performance

ADABOOST CLASSIFIER ALGORITHM		KNN ALGORITHM	
Metric	Values	Metric	Values
MAE:	0.285	MAE:	0.891
MSE:	0.463	MSE:	1.669
RMSE:	0.680	RMSE:	1.292
Acc.	0.802	Acc.	0.497
Fault Distribution		Fault Distribution	
Real Values & Predictions		Real Values & Predictions	

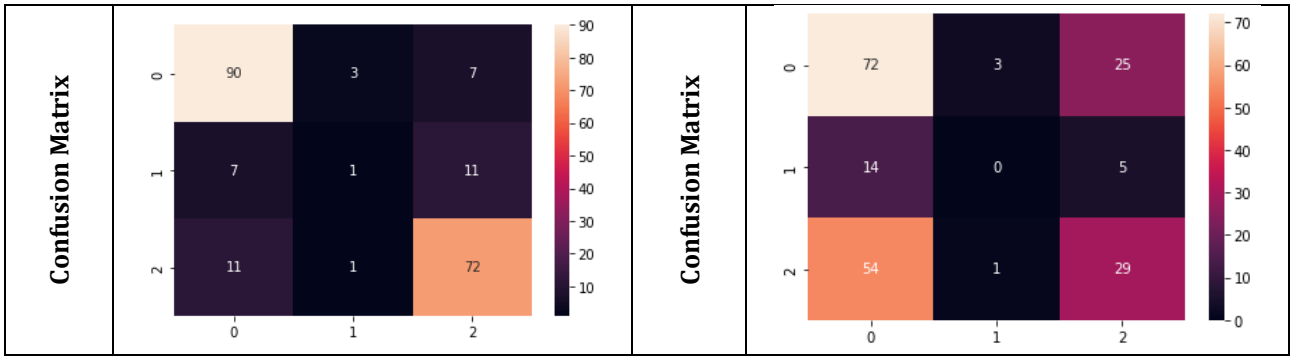


Table 8 shows the error metrics and accuracy values obtained in the training of Extra Trees and GradientBoosting algorithms. In addition, the graph showing the similarity between the real values and the values classified by the trained model, the error distribution graphs in classification and the confusion matrix tables are shown.

Table 8. Extra Trees and GradientBoosting Algorithm performance

EXTRATREES ALGORITHM		GRADIENTBOOSTING ALGORITHM	
Metric	Values	Metric	Values
MAE:	0.197	MAE:	0.197
MSE:	0.364	MSE:	0.315
RMSE:	0.603	RMSE:	0.561
Acc.	0.886	Acc.	0.862
Fault Distribution		Fault Distribution	
Real Values & Predictions		Real Values & Predictions	
Confusion Matrix		Confusion Matrix	

In Table 9, the performance of the Extra Trees algorithm was increased by fine tuning after training. The hyperparameter trials of the fine-tuning process and the hyperparameter values with the best results are shown

in Table 9. The fine-tuning parameters shown in Table 9 were tested and the parameter values at which the training started are shown. The last column of Table 9 shows the best performance values of the final test.

Table 9. Extra Trees fine tuning process and values

EXTRATREES ALGORITHM FINE TUNING PROCESS AND RESULTS					
Fine Tuning Model's Result		Hyperparameter Fine Tuning Parameters	Hyperparameter Fine Tuning Values	Hyperparameter Fine Tuning Parameters	Hyperparameter Fine Tuning Best Values
Metrics	Values	max_depth	None, 10, 20, 30	max_depth	30
MAE:	0.038	min_samples_leaf	1, 2, 4	min_samples_leaf	1
MSE:	0.073	min_samples_split	2, 5, 10	min_samples_split	5
RMSE:	0.271	n_estimators	50, 100, 200	n_estimators	100
Accuracy:	0.979	-	-	-	-

5. Discussion and Conclusions

Detection and prevention of Phishing attacks is an area that has attracted the attention of researchers and has been extensively studied. Table 10 shows the comparison table of this study with similar studies. In the table, the researcher, the year of the study, the preferred machine learning method, the success value obtained, and the data set studied are clearly shown. It is clear from this comparison that experiments with different machine learning methods have been conducted in the current study and improvement studies have been carried out in this area. This detail makes this study stand out from the others. In addition, the success rate obtained is acceptable compared to other studies.

Table 10. Comparative comparison table with similar studies in the literature

Works	Year	Dataset	Algorithm	Metrics
Ying and Xuhua	2006	Random page pool	SVM	Accuracy: 88%
Abdelhamid et al.	2014	Website history	MCAC	Accuracy: 94%
Moghimi and Varjani	2016	Yahoo (PhishTank)	SVM	Accuracy: 99.1%
Yi et al.	2018	Website traffic flows	DBN	Accuracy: 90%
Sahingoz et al.	2019	Own dataset	RF	Accuracy: 97.9%
Yerima and Alzaylae	2020	Benchmarked dataset	CNN	F1Score: 97.6%
Rashid et al.	2020	Google dataset	SVM	Accuracy: 95.6%
Adeyemo et al.	2021	Phishing datasets in UCI	LMT	Accuracy: 97.1%
This Work	2024	Website Phishing Data Set	Extra Trees	Accuracy: 97.9%

In this study, we investigated the effectiveness of machine learning methods for detecting Phishing attack threats on web pages. After six distinct machine learning algorithms were examined, the Extra Trees method was found to have the greatest success rate. We made some important adjustments to this approach in order to improve its effectiveness even further. Our performance tweaks to the Extra Trees algorithm significantly improved its ability to recognize phishing attacks. These results highlight the importance of developing machine learning techniques to provide a more effective protection against the dynamic environment of Phishing attack assaults. In order to further boost success in this sector, we plan to focus on certain techniques in our upcoming work. These involve expanding our dataset and adopting a more multifaceted strategy by combining several machine learning algorithms. By using larger and more diverse datasets, we will increase the generalization ability of our model and conduct a comprehensive study to better understand the advantages of different approaches. We'll also turn at larger-scale applications to assess how well our model performs in practical situations. This will allow us to

evaluate how well our developed approaches work in actual applications. Consequently, our study has shown how machine learning algorithms can detect Phishing attack dangers on websites with ease and success. The fact that the Extra Trees approach has been successfully applied shows that it has the potential to be a more effective tool for detecting assaults of this nature. Our next research will expand on these tactics in order to progress this field and keep people' online environments safer.

Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the author.

References

- Abdelhamid, N., Ayesh, A., & Thabtah, F. (2014). Phishing detection based Associative Classification data mining. *Expert Systems with Applications*, 41(13), 5948–5959. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2014.03.019>
- Adeyemo, V. E., Balogun, A. O., Mojeed, H. A., Akande, N. O., & Adewole, K. S. (2021). Ensemble-Based Logistic Model Trees for Website Phishing Detection. *Communications in Computer and Information Science*, 1347, 627–641. https://doi.org/10.1007/978-981-33-6835-4_41/TABLES/6
- AlOmar, M. K., Hameed, M. M., & AlSaadi, M. A. (2020). Multi hours ahead prediction of surface ozone gas concentration: Robust artificial intelligence approach. *Atmospheric Pollution Research*, 11(9), 1572–1587. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2020.06.024>
- Alshingiti, Z., Alaqel, R., Al-Muhtadi, J., Haq, Q. E. U., Saleem, K., & Faheem, M. H. (2023). A Deep Learning-Based Phishing Detection System Using CNN, LSTM, and LSTM-CNN. *Electronics* 2023, Vol. 12, Page 232, 12(1), 232. <https://doi.org/10.3390/ELECTRONICS12010232>
- Balogun, A. O., Akande, N. O., Usman-Hamza, F. E., Adeyemo, V. E., Mabayoje, M. A., & Ameen, A. O. (2021). Rotation Forest-Based Logistic Model Tree for Website Phishing Detection. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 12957 LNCS, 154–169. https://doi.org/10.1007/978-3-030-87013-3_12/TABLES/10
- Balogun, A. O., Mojeed, H. A., Adewole, K. S., Akintola, A. G., Salihu, S. A., Bajeh, A. O., & Jimoh, R. G. (2021). Optimized Decision Forest for Website Phishing Detection. *Lecture Notes in Networks and Systems*, 231 LNNS, 568–582. https://doi.org/10.1007/978-3-030-90321-3_47/TABLES/7
- Barracough, P. A., Fehringer, G., & Woodward, J. (2021). Intelligent cyber-phishing detection for online. *Computers & Security*, 104, 102123. <https://doi.org/10.1016/j.cose.2020.102123>
- Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine Learning*, 45(1), 5–32. <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324/METRICS>
- Dhanavanthini, P., & Chakkravarthy, S. S. (2023). Phish-armor: phishing detection using deep recurrent neural networks. *Soft Computing*, 1–13. <https://doi.org/10.1007/S00500-023-07962-Y/TABLES/2>
- Geurts, P., Ernst, D., & Wehenkel, L. (2006). Extremely randomized trees. *Machine Learning*, 63(1), 3–42. <https://doi.org/10.1007/S10994-006-6226-1/METRICS>
- Hammid, A. T., Sulaiman, M. H. Bin, & Abdalla, A. N. (2018). Prediction of small hydropower plant power production in Himreen Lake dam (HLD) using artificial neural network. *Alexandria Engineering Journal*, 57(1), 211–221. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2016.12.011>
- Jain, A. K., & Gupta, B. B. (2019). A machine learning based approach for phishing detection using hyperlinks information. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 10(5), 2015–2028. <https://doi.org/10.1007/S12652-018-0798-Z/TABLES/6>
- Mishra, G., Sehgal, D., & Valadi, J. K. (2017). Quantitative Structure Activity Relationship study of the Anti-Hepatitis Peptides employing Random Forests and Extra-trees regressors. *Bioinformatics*, 13(3), 60. <https://doi.org/10.6026/97320630013060>
- Mithra Raj, M., & Arul Jothi, J. A. (2022). Website Phishing Detection Using Machine Learning Classification Algorithms. *Communications in Computer and Information Science*, 1643 CCIS, 219–233. https://doi.org/10.1007/978-3-031-19647-8_16/TABLES/8
- Moghimi, M., & Varjani, A. Y. (2016). New rule-based phishing detection method. *Expert Systems with Applications*, 53, 231–242. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2016.01.028>
- Rashid, J., Mahmood, T., Nisar, M. W., & Nazir, T. (2020). Phishing Detection Using Machine Learning Technique. *Proceedings - 2020 1st International Conference of Smart Systems and Emerging Technologies, SMART-TECH 2020*, 43–46. <https://doi.org/10.1109/SMART-TECH49988.2020.00026>
- Sahingoz, O. K., Buber, E., Demir, O., & Diri, B. (2019). Machine learning based phishing detection from URLs. *Expert Systems with Applications*, 117, 345–357. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.09.029>
- Website Phishing Dataset. (n.d.). Retrieved March 19, 2024, from <https://www.kaggle.com/datasets/ahmednour/website-phishing-data-set/data>
- Willmott, C. J., & Matsuura, K. (2005). Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root mean square error (RMSE) in assessing average model performance. *Climate Research*, 30(1), 79–82. <https://doi.org/10.3354/CRO30079>
- Wu, C. Y., Kuo, C. C., & Yang, C. S. (2019). A Phishing Detection System based on Machine Learning. *Proceedings - 2019 International Conference on Intelligent Computing and Its Emerging Applications, ICEA 2019*, 28–32. <https://doi.org/10.1109/ICEA.2019.8858325>
- Yerima, S. Y., & Alzaylaee, M. K. (2020). High Accuracy Phishing Detection Based on Convolutional Neural Networks. *ICCAIS 2020 - 3rd International Conference on Computer Applications and Information Security*. <https://doi.org/10.1109/ICCAIS48893.2020.9096869>

- Yi, P., Guan, Y., Zou, F., Yao, Y., Wang, W., & Zhu, T. (2018). Web phishing detection using a deep learning framework. *Wireless Communications and Mobile Computing, 2018*. <https://doi.org/10.1155/2018/4678746>
- Ying, P., & Xuhua, D. (2006). Anomaly based web phishing page detection. *Proceedings - Annual Computer Security Applications Conference, ACSAC*, 381–390. <https://doi.org/10.1109/ACSAC.2006.13>



FUTURE PROSPECTS OF RARE EARTH ELEMENTS IN COAL AND COAL ASH: BASED ON MAPPING OF GLOBAL RESEARCH (1973-2023)

Selin KARADİREK*

Akdeniz University, Engineering Faculty, Department of Geological Engineering, Antalya, Türkiye

Keywords

Coal,
Rare Earth Elements,
REEs,
Bibliometric Analysis.

Abstract

As industrial activities continue to expand, there is a growing demand for Rare Earth Elements (REEs). However, REE resources are rapidly depleting, leading to a search for alternative sources. Notably, REEs are found in significant quantities in coal, a fossil fuel with substantial global reserves and active extraction operations. Some countries, particularly China, extract REEs from coal, indicating its potential as an alternative REE source soon. The increasing number of academic research studies on this topic further underscores its importance. This study aims to analyze global academic research on REEs in coal and coal ash from 1973 to 2023 using bibliometric analysis to identify future trends. Data from the WoS database was utilized to ensure objective and comprehensive results. The research encompassed various aspects such as document type, country of origin, co-authors, institutions, citations, keywords, journals, and WoS categories. The findings suggest that coal could emerge as a significant REE source with sustainable and environmentally conscious practices, potentially forming a widespread business network.

KÖMÜR VE KÖMÜR KÜLÜNDEKİ NADİR TOPRAK ELEMENTLERİNİN KÜRESEL ARAŞTIRMALARIN HARİTALANMASINA DAYALI GELECEK GÖRÜNÜMÜ (1973-2023)

Anahtar Kelimeler

Kömür,
Nadir Toprak Elementleri,
NTE,
Bibliometrik Analiz.

Öz

Gelişen endüstriyel faaliyetler ile NTE'lere (Nadir Toprak Element) olan ihtiyaç da aynı oranda artmaktadır. NTE kaynakları hızla tükenmekte ve alternatif kaynak arayışları ortaya çıkmaktadır. Global çapta büyük rezerve sahip ve aktif olarak işletilmekte olan fosil kökenli yakıt kaynaklarından biri olan kömürde de NTE'ler azımsanmayacak oranda bulunmaktadır. Çin başta olmak üzere bazı ülkeler kömürden NTE üretimi yapmaktadır. Kömürün önümüzdeki yıllarda önemli bir alternatif NTE kaynağı olması muhtemeldir. Konu ile ilgili çok sayıda akademik araştırma yapılıyor olması da bunun bir göstergesidir. Bu çalışma 1973-2023 yılları arasında kömür ve kömür külündeki NTE'ler ile ilgili global çapta yapılan akademik araştırmaların bibliyometrik analiz ile irdelenmesi, gelecek beklentilerin saptanması amacıyla yapılmıştır. Çalışmada objektif ve kapsamlı sonuçların elde edilebilmesi adına WoS veri tabanından çekilen veriler kullanılmıştır. Yapılan araştırmalar doküman türü, ülke, ortak yazar, enstitü, atıf, anahtar kelimeler, dergi, WoS kategorisi gibi çok yönlü olarak incelenmiştir. Kömürün sürdürülebilir ve çevresel yaklaşımlarla NTE kaynağı olarak yaygın bir işletme ağına sahip olması muhtemeldir.

Alıntı / Cite

Karadirek, S., (2024). Future Prospects of Rare Earth Elements in Coal and Coal Ash: Based on Mapping of Global Research (1973-2023), Journal of Engineering Sciences and Design, 12(2), 430-442.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

S. Karadirek, 0000-0003-4829-600X

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	01.06.2024
Kabul Tarihi / Accepted Date	12.06.2024
Yayın Tarihi / Published Date	30.06.2024

* İlgili yazar / Corresponding author: selinhokerek@akdeniz.edu.tr, +90-242-310-6348

FUTURE PROSPECTS OF RARE EARTH ELEMENTS IN COAL AND COAL ASH: BASED ON MAPPING OF GLOBAL RESEARCH (1973-2023)

Selin KARADİREK[†]

Akdeniz University, Engineering Faculty, Department of Geological Engineering, Antalya, Türkiye

Highlights

- REEs, which can be enriched in coal and coal ash, are emerging as potential sources of essential elements.
- Bibliometric analysis is employed to quantitatively evaluate the literature and identify research trends on a given topic.
- The future trend in the field of REEs will involve every country aiming to leverage the environmental and ecological benefits while providing economic contributions.

Graphical Abstract

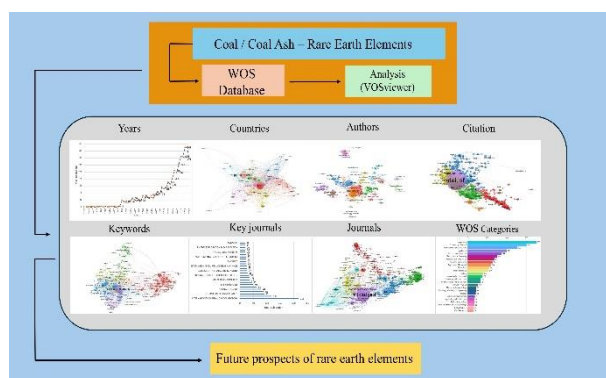


Figure. Distribution of REEs in coal by publications, countries, authors, citations, keywords, journals based on VOSviewer

Purpose and Scope

Rare earth element (REE) reserves are about to be depleted due to expanding usage. Therefore, coal has been investigated as an alternative REE source. The analysis of scientific data is critically important for assessing international activity, predicting future trends, guiding researchers, identifying study topics, and enhancing visibility. This study aims to assess the status, focus, and trends of research on REEs in coal and coal ash by analyzing publications, authors, countries, and journals by implementing VOSviewer.

Design/methodology/approach

In this study, bibliometric analysis was used to obtain more objective and comprehensive results compared to traditional literature reviews. All databases in Web of Science (WoS) were used as data sources for bibliometric analysis. An advanced search formula TS (Topic) = (coal* OR lignite) AND ("rare earth element*" OR REE* OR REY*) was used to identify scientific studies. For network analysis of the publications retrieved from the WoS databases, freely available software VOSviewer 1.6.20 package program was utilized for constructing and visualizing bibliometric networks.

Findings

Since research on REEs in coal began in 1973, the field experienced slow development until 1990, after which interest rapidly increased in 1991. To date, the number of studies on REEs in coal and ash has grown annually. The simultaneous rise in REE studies and the use of technological products and industrial activities indicates that academic research is progressing in parallel with sector needs. Notably, James C. Hower and Shifeng Dai have made significant and impactful contributions to this field. This study reveals that the USA and China have high productivity in terms of total publications. The future trend in this field will involve each country that uses coal as fuel and generates waste material to determine their REE enrichments, protect the environment and ecology, and leverage the economic benefits.

Originality

No comprehensive study has been identified that evaluates current trends and future prospects of REEs in coal and coal ash through bibliometric analysis. This study provides researchers with crucial insights into the trends and hotspots of REEs in coal and coal ash and can guide future studies.

[†] Corresponding author: selinhokerek@akdeniz.edu.tr, +90-242-310-6348

1. Introduction

Coal is amongst one of the most important energy fuels in the world, meeting a significant portion of the electrical energy demand (Steckel et al., 2015). Coal is a sedimentary rock comprising water, minerals, organic matter, and most trace elements, making it not only an energy provider but also the repository of the broadest array of elements in nature. These elements in coal are pivotal in shaping the depositional environment's properties (Finkelman et al., 2019), impacting coal extraction, combustion, ash disposal, environmental and human health effects, and utilization of valuable by-product raw materials (Dai et al., 2012; Finkelman, 2004; Karadirek, 2023). Despite the widespread presence of rare earth element (REE) deposits globally, economic viability is declining, necessitating the exploration of alternative sources to meet future REE demands (Balaram, 2023).

REEs, which can be enriched in coal and coal ash (Bullock et al., 2018; Dai and Finkelman, 2018; Zhao et al., 2018), are emerging as potential sources of critical elements. Comprising 17 elements, including the lanthanide groups, scandium, and yttrium, REEs are vital in small quantities for enhancing the quality in high-tech products (Şahiner et al., 2017). In our technology-driven world, the dependence on REEs is escalating, with coal, recycling, and marine sediments being alternative sources for these elements (Balaram, 2023). The production of REEs holds significant national importance. For instance, the USA heavily relies on imported REEs. Utilizing coal and coal ash as sources for REEs would reduce dependency on foreign markets, offering a more economical solution. Considering the current consumption rate, the USA could potentially access a 1000-year supply of REEs by processing untouched coal and its by-products (Alvin et al., 2017).

Bibliometric analysis, widely employed across disciplines, delineates the distribution pattern of scientific data within specific subjects, fields, institutions, and countries, enabling quantitative analysis of academic literature through mathematical and statistical techniques (Peng et al., 2018). Yang et al. (2018) conducted a study mapping trace elements in coal and ash, enhancing our understanding of these elements' characteristics.

This study, which is prompted by the increasing significance of REEs, aims to delineate the international outlook of REEs in coal and coal ash through bibliometric analysis (scientific mapping techniques combined with literature network analysis) using data from the Web of Science (WoS) database. The examination of scientific data holds crucial scientific importance in gauging international activity, and future trends, guiding researchers, identifying study topics, and enhancing visibility. Accordingly, scientific studies from 1973 to 2023 were assessed based on WoS categories, publication distribution by year, countries, authors, institutions, journals, most cited works, co-authors, common keywords, bibliography matches, and co-citations in coal and coal ash.

2. Material and Method

This study employed bibliometric analysis, recognized as a method for evaluating research outcomes and gaining a comprehensive view of current scientific output, providing more objective and comprehensive results than traditional literature reviews. All databases in Web of Science (WoS) served as the data source for bibliometric analysis. An advanced search formula $TS (\text{Topic}) = (\text{coal} * \text{OR} \text{ lignite}) \text{ AND } ("rare \text{ earth element}*" \text{ OR } REE * \text{ OR } REY *)$ was utilized to identify scientific studies. The timeframe includes 1973–2023 (data retrieval last updated on 31 December 2023), yielding 3920 records. Each publication was evaluated, resulting in the removal of duplicates and materials unrelated to REEs. This study specifically focused on publications concerning REEs within coal and coal ash.

For network analysis of the publications retrieved from the WoS databases, freely available software VOSviewer 1.6.20 package program (van Eck and Waltman, 2010) was utilized for constructing and visualizing bibliometric networks. The program visualizes items in the form of labels and circles, with circle size indicating the item's weight. The colors in the network visualization denote clusters of similar elements, calculated by the program, whereas the distance between items signifies the strength of associations among articles (Yuan et al., 2021).

3. Result and Discussion

3.1. General Distribution of Publications by Type, Year and Countries

A total of 3920 publications across 7 subcategories have been identified in relation to the study topic of REEs in coal and coal ash over the past 50 years. Among these, "Article" comprises the largest share, accounting for 87.9% of the total publications (3446 records). This is followed by "proceeding paper" at 9.6%, "review article" at 5.2%, and "book chapters, meeting abstracts, and other publications" with shares of less than 1% (Table 1).

Table 1. The distributions of document types of rare earth elements in coal and coal ash

DOCUMENT TYPE	RECORD COUNT	FRACTION %
Article	3446	87.9
Proceeding paper	377	9.6
Review article	203	5.2
Book chapters	39	1.0
Meeting abstract	29	0.7
Other publication	57	1.4

Figure 1 illustrates the publication trends for REEs in coal and coal ash from 1973 to 2023. The highest number of publications occurred in 2021 and 2022, totaling 341, while the lowest number of publications was recorded between 1973 and 1990 (<4). During the period from 1991 to 2009, a relatively steady number of publications were released, but starting from 2010, there was a notable upward trend with over 100 publications per year. Although there was a slight decline in the number of publications in 2023, the overall trend indicates a continuous increase in published works.

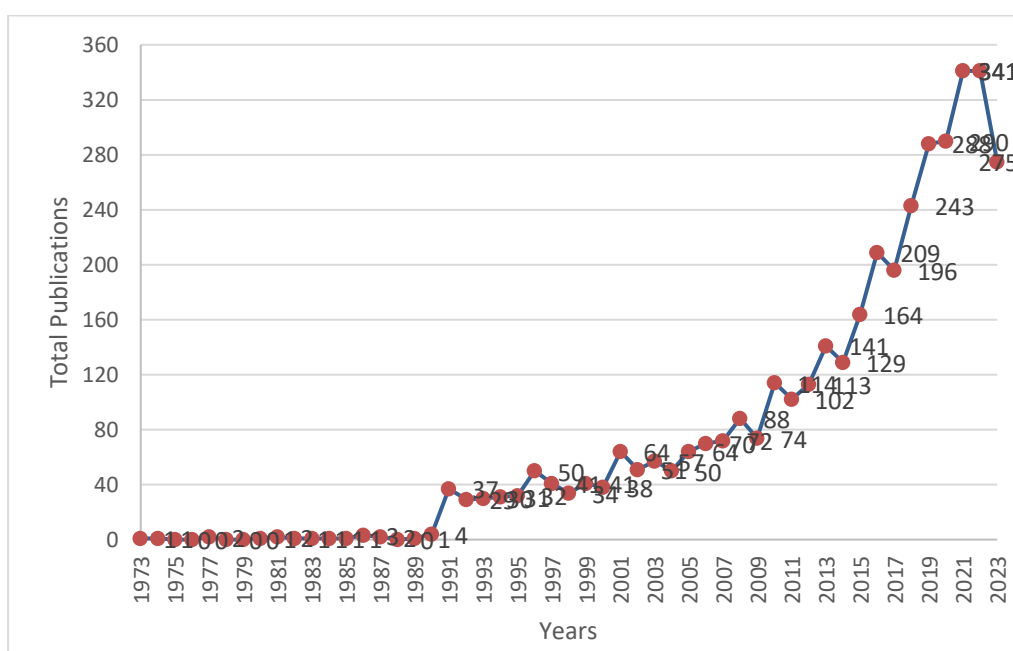


Figure 1. The distribution of publications of rare earth elements in coal and ash by years

The leading countries in conducting research on REEs in coal and coal ash are the United States (1179) and China (1006), as indicated in Table 2. They are followed by Australia (300), the UK (239), Russia (230), Germany (202), India (201), Canada (193), France (153), Spain (119), Japan (116), Poland (105), and several other countries with fewer than 100 publications. Table 2 outlines the top 20 most productive countries in this field. The current trend in global research on REEs in coal and coal ash suggests a significant influence from the USA and China in driving the publication numbers.

The co-author network analysis of publications focused on identifying and interpreting the most influential countries and their connections. Figure 2 reveals that the USA and China, as the two most productive countries, are central to this network. In analyzing studies from these nations, it became evident that they have numerous collaborations with other countries. Particularly noteworthy is the extensive network of co-publications involving the USA, covering a wide range of countries. This indicates both a high volume of publications and a strong level of collaboration.

The USA has been found to have joint publications with countries that also have a substantial publication output, such as China, Australia, Canada, Germany, France, India, Spain, England, and Russia. Additionally, collaborations involving the USA span across continents, highlighting its global engagement in this research domain. Authors affiliated with institutions in the USA predominantly focus on research related to Chinese coals, reflecting the collaborative efforts between authors from the USA and China.

Table 2. The most productive countries/regions of rare earth elements in coal and coal ash

RANK	COUNTRIES/REGIONS	TOTAL PUBLICATIONS	FRACTION (%)
1	USA	1179	30.08
2	Peoples R China	1006	25.66
3	Australia	300	7.65
4	England	239	6.10
5	Russia	230	5.87
6	Germany	202	5.15
7	India	201	5.13
8	Canada	193	4.92
9	France	153	3.90
10	Spain	119	3.04
11	Japan	116	2.96
12	Poland	105	2.68
13	South Korea	76	1.94
14	Italy	72	1.84
15	Iran	65	1.66
16	Netherlands	61	1.56
17	Türkiye	59	1.51
18	Brazil	58	1.48
19	South Africa	56	1.43
20	Sweden	54	1.38

The second circle explosion was in China. A significant collaboration exists between China and the US in joint studies. While there are similarities between China and the USA in the joint country network analysis, the network does not appear as extensive as that of the USA (Figure 2). This suggests that both countries engage in a substantial number of joint publication studies. China's second most prominent collaboration is with Australia. Although not as robust as the collaborations with the US and Australia, China also has strong network ties with Russia and the UK.

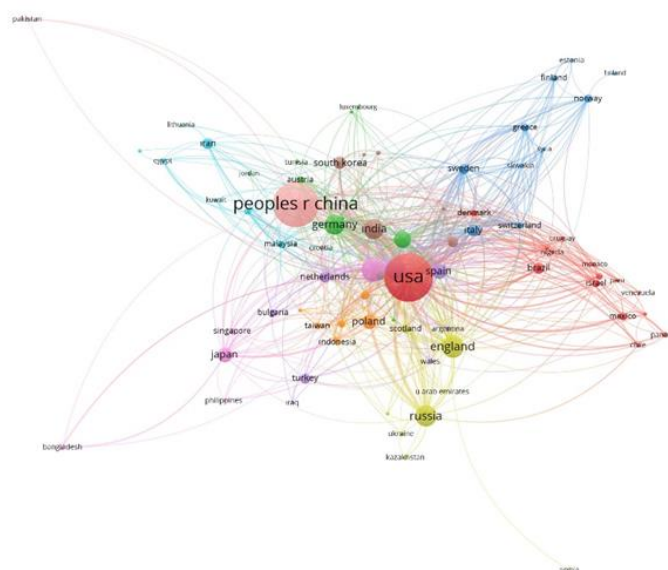


Figure 2. The co-operation network of the countries of REEs in coal and coal ash

Australia and the UK exhibit the most extensive network distribution among Australia, Canada, the UK, and Russia. Canada, in comparison, has a narrower network spread. Despite Russia having a high number of publications, its network distribution is limited, indicating a lack of collaboration with other countries in its studies.

3.2. Co-occurrence and Co-citations Analysis of Authors

For the co-author network analysis of published articles on REEs in coal and coal ash, criteria were set with a minimum of 3 documents authored and a minimum of 3 citations per author. Among the total 12,419 authors mentioned in the analyzed dataset, 669 authors met these criteria, representing approximately 5% of the total authors. The analysis revealed the largest group of linked authors, comprising 362 individuals organized into 25 clusters [with 1801 links and a total link strength of 4478]. Each of the 25 clusters contains between 1 and 32 co-authors, distinguished by different colored clusters.

The results from the co-occurrence analysis reveal a partial collaborative relationship among the authors (Figure 3). Notably, among authors contributing significantly to publications on REEs in coal and coal ash, Hower JC stands out with 103 links and a total link strength of 432, based on 100 publications. Similarly, Dai SF shows prominence with 87 links, a total link strength of 482, and 93 publications (Table 3). These authors share a specialization in coals commonly used in China. Authors with over 30 publications include French D (39 publications), Zhao L (35 publications), Graham IT, and Querol X (34 publications), along with Ward CR (32 publications) (Table 3). The top two authors demonstrate publications with substantial impact, evident from the prominent bursts in their respective nodes within the graph (Figure 3), indicating a relatively close collaboration.

Table 3. The most productive 20 contributors to REE in coal and coal ash

Authors	Record count	Fraction %
Hower JC	100	2.55
Dai SF	93	2.37
French D	39	0.99
Zhao L	35	0.89
Graham IT	34	0.87
Querol X	34	0.87
Ward CR	32	0.82
Finkelman RB	29	0.74
Li J	29	0.74
Nechaev VP	29	0.74
Wang XB	27	0.69
Arbuzov SI	26	0.66
Eble CF	24	0.61
Hsu-kim H	23	0.59
Zhang WC	23	0.59
Zhou CC	23	0.59
Zhuang XG	22	0.56
Seredin VV	21	0.54
Pan JH	20	0.51
Chekryzhov IY	19	0.48

French D, ranking third in terms of publication count, exhibits a strong author network, although not as robust as Dai SF and Hower JC. French D's research encompasses the origin of critical element enrichment, metal enrichment in coal, bio-geochemical evolution of coals and critical elements, as well as studies on REEs focusing on age, environment, origin, mineralogy, and isotopes.

On the other hand, Zhao L. does not demonstrate as extensive an author network as French D and typically collaborates with the same group of authors in their studies, many of whom have a high number of publications. Zhao L., a researcher specializing in fly ash, volcanic ash, mineralogy, critical elements, REEs, trace element enrichments, age, and environment interpretations, primarily focuses on Chinese coals in their work.

Granham IT shares similarities with his co-authors, particularly Zhao L., although their impact and reach differ. In contrast, Querol X, despite having the same number of publications as Granham IT, pursues distinct research directions from the top 5 authors in the field. While the first four authors collaborate closely, Querol X has no shared publications with them and works with an entirely different set of authors. One notable collaborator is Li J. (with 29 publications), with whom Querol X has conducted research across sites in China, Turkey, Brazil, Vietnam, and other countries. Their research focuses on REEs enrichments, trace element enrichments, coals used in power plants, and fly ash analysis. Nechaev VP, Finkelman RB, and Ward CR also have an equal number of publications. Among them, Ward CR and Finkelman RB exhibit widespread distribution in their author networks.

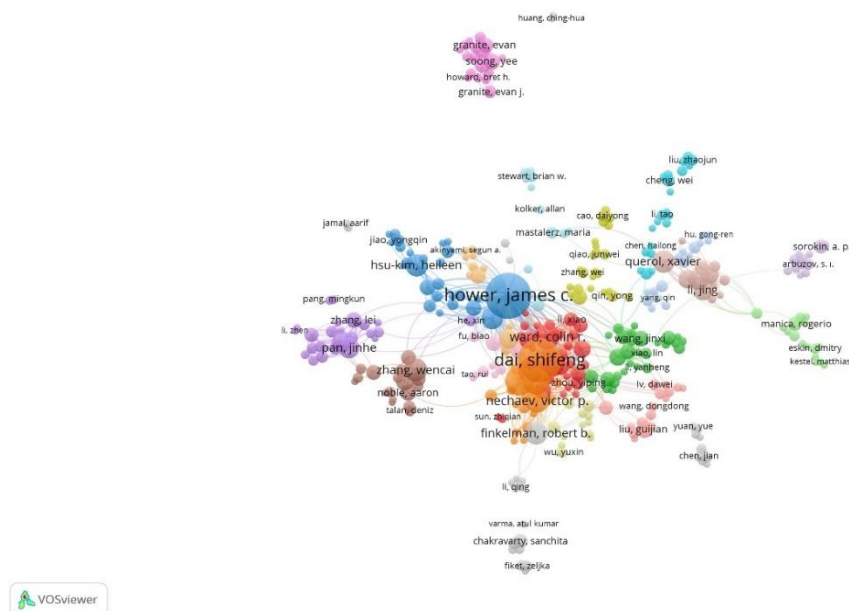


Figure 3. Co-occurrence network analysis of articles in the context of authors

The co-citation author network analysis reveals two distinct groups of authors (Figure 4). One group appears weakly connected, while the other is tightly clustered and interconnected. In the analysis results, a prominent purple cluster in the center signifies Dai SF as the most cited author, despite not being the most prolific in terms of number of publications. Dai has garnered citations from a diverse range of authors, indicating broad recognition within the field. One of Dai SF's highly cited work is a re-view paper covering the abundance, genetic types, effects on human health, and industrial applications of Chinese coal (Dai et al., 2012). In contrast, although Hower JC has the most citations, their network connections are not as extensive as Dai SF's. This suggests that Hower JC's studies are cited primarily within specific study groups or contexts.

number of sources in the analyzed dataset was determined as 43.414, with 1.020 sources meeting the threshold. The largest linked source group comprised 1.000 items and 6 clusters, with 15.090 links and a total link strength of 5.367.388.

Among the six identified clusters, the International Journal of Coal Geology (in purple) emerged as the most cited journal, creating a burst in the center (Figure 7). This journal not only has a high number of publications but also exhibits the widest network spread. It features numerous highly cited studies on REE research in coal and coal ash. Among the top five most cited studies, three of these studies focus on Chinese coals. One is a review discussing Yttrium's role in REEs within coal, while another explores the future prospects of coal as a critical element source.

Another prominent journal is Fuel (in blue), which although not as widely distributed as the International Journal of Coal Geology, still shows a significant spread. The most cited study in Fuel pertains to the phase-mineral and chemical composition of biomass ash. Journals like Nature and Science share a similar distribution pattern to Fuel. In contrast, the Journal of Fluid Mechanics (in green) ranks second in references but lacks extensive network spread, indicating citations primarily from within the same journal's publications.

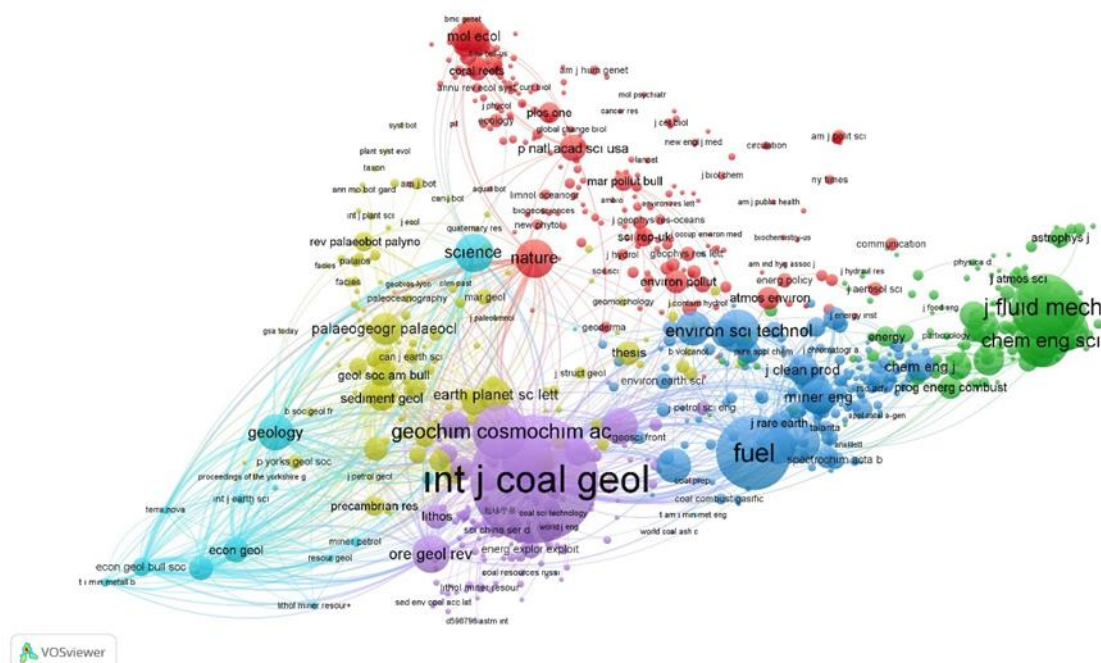


Figure 7. Network analysis distribution of journals publishing on REE studies in coal and coal ash

3.5. Distribution of WoS Categories

The classification of WoS categories offers an advantage by providing information on the subject distribution of academic outputs and enabling insightful comments. In this context, WoS categories related to REEs in coal and coal ash were analyzed. The WoS categories in the top four classifications are Energy & Fuels (17.93%), Engineering, Chemical (15.36%), Geosciences, Multidisciplinary (12.93%), and Mechanics (10.15%) that encompass more than half (54%) of the total articles (Figure 8).

Studies on REEs in coal and coal ash have predominantly been conducted within the realms of environmental research and earth sciences, including environmental sciences, environmental engineering, ecology, green sustainable science and technology, water resources, geological and mineral research encompassing mining mineral processing, geochemistry, geophysics, mineralogy, geology, multidisciplinary research involving chemistry, material science, multidisciplinary science, engineering, physical chemistry, marine freshwater biology, evolutionary biology, and methodological research such as physics, fluids, plasmas, thermodynamics, metallurgy and metallurgical engineering.

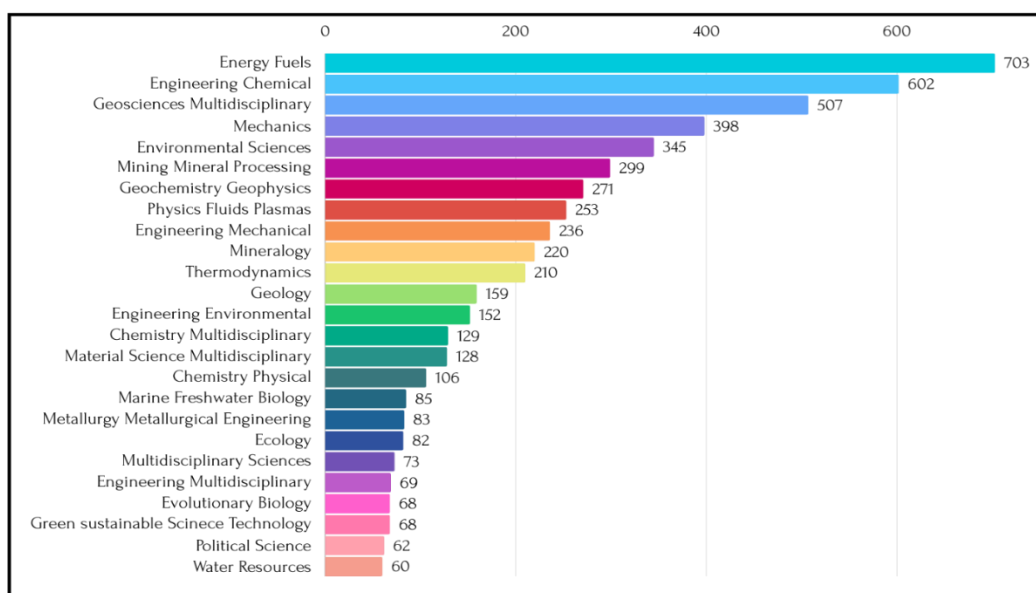


Figure 8. Distribution of WoS categories

3.6. Research Tendencies and Study Focus

It is estimated that a significant portion of the REE reserve will be depleted by 2030 given current operations (Yalcin Erik, 2022). Consequently, researchers are exploring alternative sources of REEs. Coal stands out as one of the important resources for REE production.

The countries with the most intensive REE research in coal and coal ash are the USA and China. One of the significant reasons for this is the abundance of coal reserves in these nations. The USA holds 29% of the world's coal reserves, followed by Russia at 20.6%, Australia at 18.9%, and China at 18%. China leads in world coal consumption at 71.4%, while the United States ranks third, accounting for 7% after India (Global Power Plant, 2024). Globally, there are 121 billion tons of REE reserves identified, with China being the largest producer (Ober, 2017). This aligns with the concentration of academic research in China on this topic.

China, Japan, the USA, Germany, and France are among the top consumers of REEs. Of particular interest here is the USA. Despite being one of the world's leaders in coal reserves and consumption, the production of REEs is not as high in the USA. The substantial number of academic studies conducted in the country is an indication that research in this field is ongoing. Another country facing a situation similar to the USA is Russia. Russia boasts 18 billion tons of coal reserves (Şahiner et al., 2017) and holds a prominent position in academic research on the subject. However, it has not achieved comparable success in REE research studies. On the other hand, Brazil, with 22 billion tons of coal reserves, ranks at the top globally. It comes second only to China in REE production (Şahiner et al., 2017). Despite not leading in terms of coal reserves like Canada, Germany, France, England, and Spain, Brazil's engagement in REE studies indicates that the issue extends beyond coal reserves alone. The fact that countries are exploring alternative REE resources suggests proactive measures against potential decreases in REE resources in the future.

There are numerous researchers who have conducted studies on REEs in coal and coal ash. Discussing the research of Hower JC, the most prolific author, and Dai SF, the second most published and cited author, is crucial for understanding the past and gaining insights into the future of this field. Hower JC embarked on his first study on this subject in 1996 and has since been consistently involved in research. The study of Hower et al. (1999) on REE anomalies of coals in Eastern Kentucky stands out as the most cited publication. His research primarily focuses on China and the USA. He extensively analyzed fire clay coal deposits regarding REEs and also investigated fly ash, mineralogy, and REE enrichments. Dai SF and Hower JC have collaborated on 43 studies since 2011, with a majority of their research focusing on Chinese coals. Their work encompasses topics such as fly ash, volcanic ash, REE enrichment in coal waste, and REE mineralogy. Through their studies, it is apparent that the emphasis should be placed on REE production from coal fly ash, bottom ash, and volcanic ash. This emphasis provides important insights for researchers currently engaged in or planning future research, as well as for countries aiming to enhance REE production.

Their contributions to REE research in coal and coal ash are significant, particularly through their studies, including review articles, on REE investigations in peat areas, the organic relationships of non-mineral elements

in coal, coals of various ages, and coals from different geographical regions.

Generally, the widespread use of keywords such as fly ash, coal waste, and bottom ash in publications supports the emphasis on REE production from these sources. This emphasis is particularly crucial for the utilization and disposal of fly ash and bottom ash wastes generated in thermal power plants. With the growing demand for energy, there has been a corresponding increase in coal fly ash waste. Research conducted in Poland, the second-largest coal consumer in Europe, has revealed that fly ash is a promising raw material for REE (Franus et al., 2015), given that a significant portion of global electricity generation relies on coal. For countries like China, the USA, Russia, and India, which are expected to remain reliant on coal for a considerable time, the utilization of critical elements holds both economic and environmental importance (Dai and Finkelman, 2018).

Despite the presence of alternative energy sources, the reliance on coal-based energy remains unchanged. This leads to the global production of significant amounts of coal fly ash, posing serious ecological threats during disposal and storage (Gollakota et al., 2019). In light of these findings, countries utilizing coal as a fuel and generating waste material from it should assess REE enrichment. They must then develop policies to safeguard the environment and ecology while also leveraging the economic benefits offered by REE contributions.

4. Conclusions

Bibliometric analyses were conducted using data from the WoS database for REE studies in coal and coal ash. The majority of these studies, 87.9%, fall under the Article document type. Dai SF stands out as one of the most cited authors with extensive research on REE in coal and coal ash, including both literature reviews and field studies. Hower JC has also made significant contributions to this field.

The study extensively analyzed the joint network analyses of authors collaborating with Hower JC and Dai SF, revealing strong bursts in their networks. While Hower JC received the highest number of citations, the International Journal of Coal Geology had the highest number of publications. Notably, a majority of the publications were published by the USA (30.08%) and China ranking second (25.66%) in publication output.

Upon analyzing the distribution of WoS categories, studies in energy, environmental sciences, mining, geosciences, multidisciplinary fields, chemistry, and geochemistry stood out categorically.

Keywords play a crucial role in discerning the focus of studies. In this study, a detailed examination was conducted on keywords and their interconnections. Keywords were broadly categorized into element-based investigations, field studies, and methodologies. The analysis revealed a concentration of studies on keywords like fly ash, bottom ash, coal waste, and red mud. Additionally, elements such as Yttrium and Scandium, abundant in coal and coal ash, along with lanthanides and critical metals, were frequently utilized as keywords.

The first study on this subject dates back to 1973, with approximately 50 years of studies analyzed until the end of 2023. Upon examining the data annually, it was noted that the number of publications remained consistently low until 1990, after which it showed an upward trend. The growth rate increased notably after 2010, indicating a significant rise in publications related to REEs in recent years. This trend aligns with the increased utilization of REEs in technological products and industrial activities, reflecting the progressive nature of academic studies in response to sectoral demands. The widespread adoption of REEs over the past five decades also corresponds to the year of the first publication in this area.

The utilization of REEs in electrical, electro-optical, and magnetic applications is extensive. With the rapid global advancement in technological activities, the use of REEs has expanded across various sectors. Main sectors where they are prominently employed include satellite and communication technologies, the defense industry, and medical products.

The use of fossil fuels remains widespread globally, with coal being a primary energy source in many countries, especially for electricity generation. China stands out as one of the leading consumers of coal, with significant production and reserves. Following breakthroughs in science and technology since the 1980s, China has emerged as a major competitor to the USA and European nations in technological product manufacturing. This dual focus on coal and technological advancements has led China to early exploration of REEs, as evidenced by academic publications.

China and the USA are among the top countries conducting REE research in coal and coal ash, often collaborating on joint academic studies. Notably, the research efforts of the USA often center on China, which leads in coal reserves. The study suggests that the USA may soon face a shortage of REEs and should explore alternative sources,

including coal. This trend is mirrored in other technologically developing countries without coal reserves, indicating a potential future use of coal as an REE source alongside its energy role. Given these factors, it is likely that REE studies will increase in the USA in the coming years. Moreover, the presence of academic studies in countries without coal reserves hints at coal's potential dual role as an REE source and energy fuel in the future.

Acknowledgement

The author would like to thank Dr. Cevdet Bertan Güllüdağ for his valuable comments.

Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the author.

References

- Alvin, M.A., Granite, E., Miller, C., 2017. The Future of Rare Earth Elements May Lie with Coal. American Coal Council, America.
- Balaram, V., 2023. Advances in Analytical Techniques and Applications in Exploration, Mining, Extraction, and Metallurgical Studies of Rare Earth Elements. *Minerals*, 13, 1031. <https://doi.org/10.3390/min13081031>
- Bullock, L.A., Parnell, J., Perez, M., Armstrong, J.G., Feldmann, J., Boyce, A.J., 2018. High selenium in the Carboniferous coal measures of Northumberland, North East England. *International Journal of Coal Geology*, 195, 61–74.
- Dai, S., Finkelman, R.B., 2018. Coal as a promising source of critical elements: progress and future prospects. *International Journal of Coal Geology*, 186, 155–164.
- Dai, S., Ren, D., Chou, C.L., Finkelman, R.B., Seredin, V.V., Zhou, Y., 2012. Geochemistry of trace elements in Chinese coals: a review of abundances, genetic types, impacts on human health, and industrial utilization. *International Journal of Coal Geology*, 94, 3–21.
- Finkelman, R.B., 2004. Potential health impacts of burning coal beds and waste banks. *International Journal of Coal Geology*, 59, 19–24.
- Finkelman, R.B., Dai, S., French, D., 2019. The importance of minerals in coal as the hosts of chemical elements. *International Journal of Coal Geology*, 212, 103251.
- Franus, W., Wiatros-Motyka, M.M., Wdowin, M., 2015. Coal fly ash as a resource for rare earth elements. *Environmental Science and Pollution Research*, 22, 9464–9474.
- Global Power Plant, 2024. Available online: <https://www.globalfirepower.com> (accessed on 16 January 2024).
- Gollakota, A.R.K., Volli, V., Shu, C.M., 2019. Progressive utilization prospects of coal fly ash: A review. *Science of the Total Environment*, 672, 951–989.
- Hower, J.C., Ruppert, L.F., Eble, C.F., 1999. Lanthanide, yttrium, and zirconium anomalies in the Fire Clay coal bed, Eastern Kentucky. *International Journal of Coal Geology*, 39, 141–153. [https://doi.org/10.1016/S0166-5162\(98\)00043-3](https://doi.org/10.1016/S0166-5162(98)00043-3)
- Karadirek, S., 2023. Mineralogy and geochemistry of coal-bearing Tunçbilek Formation in the Tunçbilek-Tavşanlı coalfield (Kütahya, W-Turkey). *Journal of Scientific Reports-A*, 52, 65–98. <https://doi.org/10.59313/jsr-a.1192487>
- Ober, J.A., 2017. Mineral commodity summaries 2017: U.S. Geological Survey, 202 p. <https://doi.org/10.3133/70180197>
- Peng, B., Guo, D., Oiao, H., Yang, Q., Zhang, B., Hayat, T., Alsaedi, A., Ahmad, B., 2018. Bibliometric and visualized analysis of China's coal research 2000–2015. *Journal of Cleaner Production*, 197, 1177–1189.
- Şahiner, M., Akkök, Y.Z., Arslan, M., Ergin, M.H., 2017. Rare Earth Elements in the World and Türkiye. *Mineral Research and Exploration Series-5*, Ankara, Türkiye.
- Steckel, J.C., Edenhofer, O., Jakob, M., 2015. Drivers for the renaissance of coal. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112, E3775–E3781.
- van Eck, N.J., Waltman, L., 2010. Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, 84, 523–538. <https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3>
- Yalcin Erik, N., 2022. A non-traditional resource for critical minerals: Rare Earths +Y(REY), and Sc contents of some Turkish low-rank coals. *KSU J Eng Sci*, 25(2), 155–172. <https://doi.org/10.17780/ksujes.954292>
- Yang, L., Wang, Q., Bai, X., Deng, J., Hu, Y., 2018. Mapping of Trace Elements in Coal and Ash Research Based on a Bibliometric Analysis Method Spanning 1971–2017. *Minerals*, 89, 1–18.
- Yuan, J., Chen, C., Yang, W., Liu, m., Xia, J., Liu, S., 2021. A survey of visual analytics techniques for machine learning. *Computational Visual Media*, 7, 3–36. <https://doi.org/10.1007/s41095-020-0191-7>
- Zhao, L., Ward, C.R., French, D., Graham, I.T., Dai, S., Yang, C., Xie, P., Zhang, S., 2018. Origin of a kaolinite-NH₄-illite-pyrophyllite-chlorite assemblage in a marine-influenced anthracite and associated strata from the Jincheng Coalfield, Qinshui Basin, Northern China. *International Journal of Coal Geology*, 185, 61–78.



AKADEMİK BAŞARININ VERİ MADENCİLİĞİ YÖNTEMLERİYLE TAHMİN EDİLMESİ

Mustafa YAĞCI*

Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, MMF, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Kırşehir, Türkiye

Anahtar Kelimeler

*Veri Madenciliği,
Makine Öğrenmesi,
Eğitsel Veri Madenciliği,
Akademik Performansın
Tahmin Edilmesi,
Erken Uyarı Sistemleri.*

Öz

Bu çalışmada, öğrencilerin bir önceki döneme ait dönem sonu not ortalamalarını veri madenciliği yöntemleri ile analiz ederek sonraki dönemlerde alabileceği dönem sonu not ortalamalarını giderek genişleyen 3 kategoride (Bölüm, Fakülte, Üniversite bazında) tahmin edecek yeni bir model önerilmiştir. Veri seti, Türkiye’de bir Devlet Üniversitesindeki tüm öğrenci kayıtlarının tutulduğu Öğrenci Bilgi Sisteminden (ÖBS) alınmıştır. Veriler, Sınıf öğretmenliği bölümünden 426, Eğitim fakültesinden 2.379 ve Üniversite genelinde eğitim gören 5.149 öğrencinin 2017-2018 Güz ve Bahar Yarıyılı dönem sonu not ortalamalarını içermektedir. Öğrencilerin dönem sonundaki genel not ortalamalarını tahmin etmek için veri madenciliği algoritmalarından rastgele orman, lineer regresyon, destek vektör makineleri ve k-en yakın komşular algoritmalarının başarımı hesaplanmış ve karşılaştırılmıştır. Uygulanan tüm algoritmalar örnekleri %92 ile %94 arasında değişen oranlarda doğru bir şekilde sınıflandırmıştır. Önerilen model, öğrencilerin dönem sonu not ortalamalarını tek bir değişken ile 4 üzerinden 0,28 puanlık ortalama sapma ile doğru tahmin etmiştir. Dönem sonu not ortalamalarının tahmin edilmesi sayesinde başarısız olma riski yüksek olan öğrenciler önceden belirlenebilir.

PREDICTING ACADEMIC ACHIEVEMENT USING DATA MINING METHODS

Keywords

*Data Mining,
Machine Learning,
Predict Of Academic
Performance,
Educational Data Mining,
Early Warning Systems.*

Abstract

This study proposes a new model to analyze the grade point averages (GPAs) in the previous semester using data mining algorithms and to predict the final GPAs that students may receive in the following semesters in three gradually expanding categories (department, faculty, and university). The performances of the Random Forest, Linear Regression, Support Vector Machines, and k-Nearest Neighbors algorithms, which are among the data mining algorithms, were calculated and compared to estimate the GPAs of the students at the end of the semester. All algorithms applied correctly classified the samples at rates varying between 92% and 94%. The proposed model correctly estimated students' grade point averages at the end of the semester with an average deviation of 0.28 points over a 4 with a single variable. Students with a high risk of failure can be determined in advance by estimating their final grade point averages.

Alıntı / Cite

Yağcı, M., (2024). Akademik Başarının Veri Madenciliği Yöntemleriyle Tahmin Edilmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 12(2), 443-454

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

M. Yağcı, 0000-0003-2911-3909

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	23.10.2023
Revizyon Tarihi / Revision Date	12.06.2024
Kabul Tarihi / Accepted Date	12.06.2024
Yayın Tarihi / Published Date	30.06.2024

* İlgili yazar / Corresponding author: mustafayagci@ahievran.edu.tr, +90-386-280-6057

PREDICTING ACADEMIC ACHIEVEMENT USING DATA MINING METHODS

Mustafa YAĞCI†

Kırşehir Ahi Evran University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Computer Engineering, Kırşehir, Türkiye

Highlights

- Machine learning algorithms are quite successful in predicting students' academic achievement
- Exploring the hidden relationships in educational data and predicting students' academic achievements Sentence
- The processing of educational data causes improvements in many areas such as predicting student behaviour, analytical learning, and new approaches to education policies

Graphical Abstract

	Model	RMSE	MAE	R ²
Department	LR	0.453	0.290	0.455
	RF	0.434	0.280	0.499
	SVM	0.457	0.289	0.443
	kNN	0.480	0.312	0.387
Faculty	LR	0.393	0.296	0.543
	RF	0.398	0.300	0.530
	SVM	0.393	0.295	0.542
	kNN	0.396	0.299	0.534
University	LR	0.413	0.315	0.723
	RF	0.422	0.320	0.712
	SVM	0.414	0.315	0.723
	kNN	0.419	0.319	0.715

Figure. LR, RF, SVM, and kNN models' performance criteria

Purpose and Scope

The study concerns predicting students' academic achievement using GPS only, no demographic characteristics and no socio-economic data. In this context, this study aimed to develop a new model that can analyze the grade point averages (GPAs) of the previous semester with data mining methods and predict the final GPAs in the following semesters in three categories (department, faculty, and university).

Design/methodology

Data mining (DM) methods analyze the data measured and predict the results of samples in similar situations. Two types of these methods are regression and classification algorithms. While a regression algorithms continuously predict values, the classification algorithms predict categorical values.

Findings

The model proposed here accurately estimated the GPAs of the students at the end of the semester with an average deviation of seven points out of a hundred with a single variable. By estimating the final GPAs, students who are at risk of failure or who are at risk of drop out can be identified. So, education and training authorities can be given opportunities to implement corrective actions for these students. Modules that predict academic performance with DM methods can also be added to the LMS. It will thus be possible to make the most accurate predictions automatically and quickly. In short, teaching-learning processes can be managed more effectively and more efficiently thanks to the predictions for academic performance made by DM methods. Timely and targeted individual interventions can be ensured.

Originality

This study proposed a new model based on DM algorithms to identify students who have the potential to fail and who may be likely to drop out the university. This new model analyzes the students' GPAs from the previous semester with DM algorithms and predicts the GPAs they may receive in the following semesters in three categories (department, faculty, and university).

† Corresponding author: mustafayagci@ahievran.edu.tr; +90-386-280-6057

1. Giriş (Introduction)

Veri Madenciliği (VM), farklı sınıflandırma algoritmaları kullanarak büyük veriden yeni yönelimler ve yeni desenler çıkarma sürecidir (Baker ve Yacef, 2009). Başka bir deyişle büyük veri setlerinden faydalı bilgilerin keşfedilmesidir. Eğitsel veri madenciliği (EVM) ise “temel olarak öğrenciler ve öğretmenler tarafından oluşturulan eğitsel verileri incelemek için istatistiksel, makine öğrenimi ve veri madenciliği yöntemlerini geliştirir ve uyarlar” (Calvet Liñán ve Juan Pérez, 2015, s.100). EVM, eğitim ortamlarından elde edilen verilerdeki anlamlı bölümleri, özgün yapıları ve gizli kalıpları ortaya çıkarmak için yeni yöntemler geliştirir. EVM'nin temel amacı, eğitimle ilgili konularda karar almayı desteklemek için eğitim verilerinden bilgi çıkarmaktır (Calvet Liñán ve Juan Pérez, 2015). Akademik performansı değerlendirmek, gelecekteki performansı tahmin etmek ve mevcut sorunları belirlemek vb. için öğrenciler tarafından üretilen verilerin toplanmasını ve yorumlanmasını içerir. Kısaca EVM, büyük miktarda veriden önceden bilinmeyen, gizli, anlamlı ve faydalı kalıpların otomatik olarak çıkarılmasını içerir.

Akademik performans açısından başarısızlık riski taşıyan öğrencileri belirlemek için çeşitli VM algoritmaları başarıyla uygulanmıştır (Hu, Lo ve Shih, 2014). Öğrenme/öğretme süreçlerini iyileştirmeye hizmet eden bu algoritmaların kullanımıyla keşfedilen bilgilerden hem öğrenciler hem de öğretmenler faydalanmaktadır (Akçapınar, Altun ve Aşkar, 2019). Günümüz eğitim sistemlerinde, demografik verileri ve öğrencilerin akademik notlarını içeren büyük miktarda veri elektronik ortamlarda saklanmaktadır. Bu veriler çeşitli öğrenme yönetim sistemlerinden (ÖYS) ve öğrenci bilgi sistemlerinden (ÖBS) elde edilmektedir. Eğitim verilerindeki bu hızlı artış, öğrencilerin öğrenme çıktılarının iyileştirilmesine katkıda bulunabilir (Shorfuzzaman vd., 2019; Viberg vd., 2018).

EVM, ilgili paydaşlar arasındaki ilişkiyi tanımlamak ve eğitim ortamındaki gizli örüntüleri keşfederek öğrenme ortamını optimize etmek için istatistiksel bilgi sağlar (Fernandes vd., 2019). Daha sonra hem öğrencilerin hem de öğretmenlerin olumsuz sonuçlardan kaçınmasını sağlayacak ve böylece öğretme-öğrenme süreçlerinin iyileştirilmesine hizmet edecek pedagojik yaklaşımların geliştirilebileceği bir model oluşturur. Örneğin, EVM ile ilgili bazı çalışmalar e-öğrenme sistemlerini karşılaştırmış (Lara vd., 2014), bazıları eğitim verilerini sınıflandırmış (Chakraborty vd., 2016), diğerleri ise öğrenci performansını tahmin etmeye çalışmıştır (Fernandes vd., 2019). Böylece hem başarılı hem de risk altındaki öğrencilerin belirlenmesiyle düzeltici stratejiler ve pedagojik yöntemler geliştirilebilir (Casquero vd., 2016; Fidalgo-Blanco vd., 2015).

Ahmad ve Shahzadi (2018), akademik açıdan başarısız olma potansiyeli olan öğrencileri belirlemek için makine öğrenmesi yöntemleri ile bir model geliştirmiştir. Öğrencilerin öğrenme becerilerini, çalışma alışkanlıklarını ve akademik etkileşim özelliklerini bağımsız değişkenler olarak belirlemişlerdir. Modelin başarımı %85 olarak bulunmuştur. Cruz-Jesus ve ark. (2020), öğrencilerin demografik özelliklerini kullanarak akademik performanslarını tahmin etmeye çalışmıştır. K-en yakın komşular, lojistik regresyon, rastgele orman ve destek vektör makineleri algoritmaları, öğrencilerin %65'inin akademik performansını doğru bir şekilde tahmin etmiştir. Fernandes ve ark. (2019) öğrencilerin demografik özelliklerini ve dönem içi etkinliklere yönelik başarı puanlarını kullanarak bir model geliştirmiştir. Musso ve ark. (2020) ise, öğrencilerin sosyo-ekonomik özelliklerine ve akademik performanslarına dayalı bir makine öğrenmesi modeli geliştirmiştir.

Waheed ve ark., (2020), öğrencilerin ÖYS'deki etkileşimlerini farklı bir bakış açısıyla kullanarak yeni bir makine öğrenmesi modeli geliştirmiştir. Geliştirdikleri modelin %85 oranında doğru tahminler yaptığını belirten araştırmacılara göre, daha önce çevrimiçi dersleri gezinen öğrenciler daha başarılı olmuştur. Xu vd., (2019) üniversite öğrencilerinin internet kullanım özellikleri ile akademik performansları arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Geliştirdikleri model, öğrencilerin performansını yüksek doğruluk oranıyla tahmin etmiştir. Burgos ve ark. (2018) da benzer şekilde öğrencilerin geçmiş yarıyıldaki akademik performansları ile sonraki yarıyıldaki akademik performansları arasındaki ilişkiyi incelemiştir.

Sonuç olarak EVM öğrencilerin okulu bırakması veya derse olan ilgisinin azalması gibi durumların erken tahmin edilmesini, performanslarını etkileyen içsel faktörlerin analiz edilmesini ve öğrencilerin performansını ölçmek için istatistiksel tekniklerin yapılmasını sağlar. Öğrencilerin akademik başarılarını tahmin etmek, yavaş öğrenenleri ve okulu bırakmaları belirlemek için çeşitli veri madenciliği teknikleri kullanılmaktadır (Hardman, Paucar-Caceres ve Fielding, 2013; Kaur, Singh ve Josan, 2015). Bu bağlamda erken tahmin, bu alanda uygun düzeltici strateji ve politikalar önererek öğrencilere destek olmak için değerlendirme yöntemlerini kapsayan nispeten yeni bir olgudur (Akçapınar vd., 2019; Waheed vd., 2020).

Akademik performansı ve kalıcılığı tahmin etmeyi amaçlayan araştırmacılar, sinir ağları, karar ağaçları, logit, probit ve regresyon dahil olmak üzere bir dizi teknik uygulamışlardır (Nandeshwar, Menzies ve Nelson, 2011). Bununla birlikte, en yeni çalışmalarda rastgele orman (Hung vd., 2020), genetik programlama (Pillay, 2020) ve Naïve Bayes (Sutoyo ve Almaarif, 2020) algoritmaları benimsenmiştir. Bu alandaki literatür incelendiğinde çalışmalarda çok çeşitli değişkenlerin kullanıldığı görülmüştür:

Bunlardan bazıları şunlardır; öğrencilerin internette bıraktığı gezinme, ders izlemede harcanan süre, devam yüzdesi gibi çeşitli dijital izler (Fernandes vd., 2019; Waheed vd., 2020; Xu vd., 2019), cinsiyet, yaş, ekonomik durum, katıldığı ders sayısı, internet erişimi gibi öğrencilerin demografik özellikleri (Aydemir, 2017; Bernacki vd., 2020; Cruz-Jesus vd., 2020; García-González & Skrita, 2019; Rebai, Yahia ve Essid, 2020; Rizvi, Rienties ve Ahmed, 2019), öğrenme becerileri, çalışma yaklaşımları, çalışma alışkanlıkları (Ahmad ve Shahzadi, 2018), öğrenme stratejileri, sosyal destek algısı, motivasyon, sağlık, akademik performans özellikleri (Costa-Mendes vd., 2020; Musso vd., 2020; Kılınç, 2015; Gök, 2017), ödevler, projeler, quizler (Kardaş & Güvenir, 2020).

Bu tür çalışmalarda geliştirilen modellerin hemen hemen hepsinde sınıflandırma doğruluk oranının %70 ile %95 arasında değiştiği görülmektedir. Ancak bu kadar çeşitli verilerin toplanması ve işlenmesi çok zaman almakta ve uzman bilgisi gerektirmektedir. Ayrıca Hoffait ve Schyns (2017) sosyo-ekonomik verilerin (ebeveynlerin eğitim düzeyi ve mesleği vb.) gereksiz olduğunu ve bu kadar fazla veri toplamanın zor olduğunu belirtmiştir. Ayrıca bu demografik veya sosyo-ekonomik veriler başarısızlığın nasıl önleneceği konusunda her zaman doğru fikirleri sağlamayabilir (Bernacki vd., 2020).

Türkiye'de yükseköğretim, Bologna Süreci terminolojisi açısından kısa, birinci, ikinci ve üçüncü aşamalardan oluşan tüm ortaöğretim sonrası yükseköğretim programlarını kapsamaktadır. Türk yükseköğretim programlarının yapısı, tek kademeli bir sisteme sahip olan diş hekimliği, eczacılık, tıp ve veterinerlik programları dışında, iki kademeli bir sisteme dayanmaktadır. Bu tek aşamalı programların süresi, altı yıl (360 AKTS) süren tıp hariç, beş yıldır (300 AKTS). Bu tek aşamalı programlardaki yeterlilikler, birinci aşama (lisans) artı ikinci aşama (yüksek lisans) derecesine eşdeğerdir. Lisans eğitim düzeyi, sırasıyla tam zamanlı iki yıllık (120 AKTS) ve dört yıllık (240 AKTS) eğitim programlarının başarıyla tamamlanmasının ardından verilen kısa dönem (önlisans) ve birinci aşama (lisans) derecelerinden oluşur.

Öğrencinin akademik başarısı, Öğrenci İşleri Daire Başkanlıkları tarafından yarıyıl sonu notu (ara sınav puanının %40'ı ile yarıyıl sonu sınav puanının %60'ının toplamı) ve genel not ortalaması (AGNO) dikkate alınarak hesaplanır ve bu not öğrencinin kişisel dosyasına işlenir. Önlisans ve Lisans veya Yüksek Lisans derecesi elde edebilmek için öğrencilerin genel not ortalamasının 4,00 üzerinden 2,00'den az olmaması ve programdaki tüm dersleri ve yaz uygulamalarını başarıyla tamamlamış olmaları gerekir.

Bu çalışma, öğrencilerin akademik başarısını yalnızca dönem sonu not ortalamasını kullanarak, demografik özellikler ve sosyo-ekonomik veriler olmadan tahmin etmeye yöneliktir. Bu bağlamda bu çalışmada, bir önceki yarıyılın not ortalamalarını veri madenciliği yöntemleriyle analiz ederek sonraki yarıyılların dönem sonu not ortalamalarını üç kategoride (bölüm, fakülte ve üniversite) tahmin edebilen yeni bir model geliştirilmesi amaçlanmıştır. Veri seti bu üç kategoriye ayrılmıştır. Böylece geliştirilen modelin performansı grup bazında değerlendirilebilecektir. Bu genel amaç doğrultusunda VM'den hangi algoritmaların en yüksek performansa sahip olduğu belirlenmiştir. Bu durum öğrencilerin akademik gelişimlerine katkı sağlayacak pedagojik müdahalelerin ve yeni politikaların geliştirilmesine katkı sağlayacaktır. Bu sayede her akademik dönem sonunda yapılacak değerlendirmelerle başarısız olma potansiyeli olan öğrenci sayısı azaltılabilir.

2. Yöntem (Method)

Bu bölümde veri setinin, ön işleme tekniklerinin ve kullanılan makine öğrenmesi yöntemlerinin ayrıntıları sunulmuştur.

2.1. Veri kümesi (Dataset)

Eğitim kurumları öğrencilere ilişkin verileri düzenli olarak elektronik ortamda saklar. Bu veriler öğrencilerin demografik özelliklerinden akademik performanslarına kadar çok fazla çeşit ve hacimde olabilmektedir. Bu çalışmada veriler Türkiye'de bir Devlet Üniversitesinde eğitim gören tüm öğrenci kayıtlarının tutulduğu Öğrenci Bilgi Sisteminden (ÖBS) alınmıştır. Bu kayıtlar arasından Bölüm kategorisinden sınıf öğretmenliği programına kayıtlı öğrenciler, Fakülte kategorisinden Eğitim Fakültesi

öğrencileri ve Üniversite kategorisinden 2017-2018 Bahar Yarıyılında Üniversiteye kayıtlı toplam 5.649 öğrencinin dönem sonu not ortalamaları veri seti olarak alınmıştır. Veri seti, geliştirilen modelin farklı gruplarda göstereceği performansın anlamlılığını ve tutarlılığını değerlendirebilmek için bu şekilde üç kategoriye ayrılmıştır. Bir başka ifade ile modelin performansını bölüm, fakülte ve üniversite geneli olmak üzere 3 kategoride belirlemek için veri seti gruplandırılmıştır. Öğrencilerin birimlere göre dağılımı Tablo 1.'de verilmiştir.

Tablo 1. Öğrencilerin Akademik Birimlere Göre Dağılımı (The Distribution of The Students by The Academic Unit)

Akademik birim	Öğrenci Sayısı
İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi	1.464
Fen Bilgisi Öğretmenliği	281
Sosyal Bilgiler Öğretmenliği	289
Türkçe Öğretmenliği	261
Sınıf Öğretmenliği	426
Eğitim Fakültesi	
Bilgisayar ve Öğretim Teknolojileri Öğretmenliği	148
İlköğretim Matematik Öğretmenliği	193
Rehberlik ve Psikolojik Danışmanlık	573
Okul Öncesi Öğretmenliği	208
Fen Edebiyat Fakültesi	1.487
Ziraat Fakültesi	319
Toplam	5.649

Bu çalışmada 2017-2018 Eğitim Öğretim yılı Güz yarıyılı dönem sonu not ortalaması bağımsız değişken olarak Bahar yarıyılı dönem sonu not ortalaması ise bağımlı değişken olarak belirlenmiştir. Dönem sonu not ortalaması 0 ile 100 aralığında değerler alabilmektedir. Öğrencilerin güz dönemi not ortalamasına bağlı olarak geliştirilen model, bahar dönemi not ortalamasını tahmin etmektedir. Bir başka ifade ile öğrencinin güz döneminde gösterdiği performansın bahar döneminde gösterebileceği performansı hangi düzeyde açıkladığı incelenmiştir. Yapılan dönem sonu not ortalaması tahmini ile başarısız olma potansiyeli olan öğrencilere düzeltici faaliyetler yapabilmek için yaklaşık 5 ay gibi bir süre bulunmaktadır.

2.2. Veri Hazırlama (Data Preparation)

Verinin makine öğrenmesi modeline uygun hale dönüştürülmesi aşamasıdır. Verilerin kullanıma hazır hale getirilmesi sürecidir. Ham verilerin işlenebilir verilere dönüştürülmesi gürültüden arındırılmasıdır. Bu amaçla toplam 6.729 kayıttan 1080 (%16) tanesi (örneğin güz döneminde derslere girip bahar döneminde katılmayan veya kaydını sildiren öğrencilerin kayıtları) silinmiştir. ÖBS'den alınan veri setinde öğrencilerin her bir dersten aldığı vize, mazeret, final ve bütünleme sınavlarına ait puanlar vardır. Bu puanların her biri bir satır olarak kayıtlıdır. Öncelikle her bir öğrenci için çok sayıda satırdan oluşan bu kayıtları dönem bazında gruplandırılmıştır ve ortalamaları alınmıştır. Daha sonra satırlardan oluşan vize, mazeret, final ve bütünleme sınav notları sütunlara dönüştürülerek öznitelik haline getirilmiştir.

2.3. Algoritmaların Uygulanması (Applying the Algorithms)

Veri tanımlama ve toplama aşamasından sonra modelin geliştirilmesi aşamasına geçilmiştir. Bunun için makine öğrenmesi algoritmaları uygulanmıştır. Başarı ve başarısızlığın nedenlerini incelemek için yapılan analizlerde lojistik regresyon ve zaman serisi gibi istatistiksel yöntemler kullanılabilir (Ortiz ve Dehon, 2008; Ortiz ve Dehon, 2013). Ancak bir ya da birden çok değişkenin sonuçlarına bağlı olarak başka bir değişkenin alabileceği değerlerin tahmin edilmesinde karar ağaçları (Nandeshwar vd., 2011; Delen, 2011), destek vektör makineleri (Huang ve Fang, 2013), rasgele ormanlar (Vandamme vd., 2007; Delen, 2010), ve yapay sinir ağları (Vandamme vd., 2007; Delen, 2010) daha verimlidir ve daha doğru sonuçlar verir. Makine öğrenmesi yöntemleri bilinen verilere dayalı olarak yeni verilerin sonuçlarını başarılı bir şekilde tahmin edebilen modeller oluşturmaktadır. Bu bağlamda öğrencilerin akademik performansını tahmin etmek için daha önce yapılan çalışmalara benzer şekilde lineer regresyon (LR), rastgele orman (RO), destek vektör makineleri (DVM) ve k-en yakın komşular (kNN) uygulanmıştır (Akçapınar vd., 2019; Cruz-Jesus vd., 2020; Zabriskie vd., 2019). Böylece başarısız olma potansiyeli ve dersi/okulu bırakma olasılığı olan öğrenciler

belirlenebilecektir. Bölüm, fakülte ve üniversite kategorilerinde verilerin %70'i eğitim verisi, %30'u test verisi olarak dağıtılmıştır. Tablo 2 eğitim ve test verilerinin kategorilere göre dağılımını göstermektedir.

Tablo 2. Eğitim ve Test Verilerinin Kategorilere göre Dağılımı
(The Distribution of Training and Test Data According to The Categories)

Akademik birim	Eğitim verisi	Test verisi	Veri Seti
Sınıf Öğretmenliği Bölümü	299	127	426
Eğitim Fakültesi	1.666	713	2.379
Üniversite	3.955	1.694	5.649

2.3.1. Regresyon modelleri (Regression models)

Regresyon modelleri, makine öğrenmesinin önemli bir dalı olup bağımlı bir değişken ile bir veya daha fazla bağımsız değişken arasındaki ilişkiyi modellemeyi amaçlar. Regresyon analizinin temel amacı, bağımlı değişkenin (hedef değişken) değerlerini tahmin edebilmek için bağımsız değişkenlerin (özellikler) etkilerini anlamaktır. Regresyon modelleri, özellikle sürekli ve nicel verilerin tahmin edilmesinde yaygın olarak kullanılır. Sürekli veriler, belirli bir aralıkta herhangi bir değeri alabilen veri türleridir. Bu çalışmada kullanılan veriler sürekli ve nicel verileri içerdiği için regresyon modelleri kullanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan regresyon modelleri şunlardır: Rastgele Orman (RO), Lineer Regresyon (LR), K-En Yakın Komşu (kNN) ve Destek Vektör Makinesi (DVM).

2.3.1.1. Rastgele orman (Random forest)

Karar Ağaçları hem regresyon hem de sınıflandırma problemlerini ele alabilen denetimli bir makine öğrenmesi tekniğidir (Breiman, 2001; aktaran Costa-Mendes vd., 2020). Karar ağacı, ağacın iç düğümlerinin bağımsız değişkenleri içerdiği ve yaprakların olası hedef sınıflara karşılık geldiği bir ağaç yapısı biçimine sahip bir sınıflandırma modeli oluşturur. Her dâhili düğümün, değişkenin alabileceği olası değerlere karşılık gelen birkaç dalı vardır. Bir karar ağacının oluşturulması, her yinelemede, verilerin homojenliğine dayalı olarak ağaca girmek için bir değişkenin seçildiği yinelemeli bir sürece dayanır.

Bir karar ağacı, bir dizi sorunun cevaplarına bağlı olarak bir değişkeni başarılı başarısız şeklinde sınıflandırmaya izin verir. En ilgili soruların sırasını belirlemek için özyinelemeli bir "böl ve fethet" işlemi yürütür. Bu ağaçlar karar süreci ve temel faktörler (soru sırası) hakkında kapsamlı bilgi sağlar. Bir ağaçtan elde edilen sonuçların okunması, diğer yöntemlerle elde edilen sonuçların okunmasından daha kolaydır.

Rastgele Orman (Breiman, 2001; aktaran Costa-Mendes vd., 2020), rastgele karar ağaçlarının birleşiminden oluşan bir makine öğrenmesi yöntemidir. Karar ağacı hedef değişkenler açısından homojen sınıflar oluşturmak için tahmin değişkenlerini sırayla bir dizi bölüm ve alt bölüme ayıran bir makine öğrenme algoritmasıdır. Rastgele bir karar ağacında her düğümde en iyi bölünme rastgele değişken seçimiyle gerçekleştirilir (Amit ve Geman, 1997; aktaran Costa-Mendes vd., 2020).

2.3.1.2. Destek vektör makineleri (Support vector machines)

DVM, sınıflandırma ve regresyon sorunlarını ele almak için popüler bir makine öğrenmesi yöntemidir (Cortes & Vapnik, 1995). DVM her bir gözlemin olası iki sınıftan birine ait olduğu bir sınıflandırma problemine odaklanır. Böylece her bir sınıfın örneklerini ikinci sınıfın örneklerinden ayıran en iyi alt küme belirlenir (Hastie vd., 2017; Akt. Cruz-Jesus vd., 2020).

2.3.1.3. Lineer regresyon (Linear regression)

Regresyon, bağımsız değişkenler ile bağımlı değişken arasındaki ilişkiyi en iyi açıklayan fonksiyonu elde etmek için uygulanan istatistiksel tekniklerdir (Kudyaba ve Hoptroff, 2001; aktaran Cihan vd., 2017). Sınıf olarak tanımlanan öznelik bağımlı değişken, geri kalan öznelikler ise bağımsız değişkenler olarak tanımlanır. Regresyon denetimli öğrenmedir. Regresyon analizi değişkenler arasında neden-sonuç ilişkisinin bulunmasına olanak sağlayan bir analiz yöntemidir.

2.3.1.4. K-en yakın komşular (kNN) (K-nearest neighbors)

kNN, hem sınıflandırma hem de regresyon problemlerini çözmek için kullanılacak bir makine öğrenmesi tekniğidir (Cover ve Hart, 1967). Bu yöntem, belirli sınıflardan oluşan bir örneklem setindeki gözlem

Tablo 4. Tahmin Modellerinin Olasılıkları ve Nihai Kararları (Probabilities and Final Decisions of Prediction Models)

	stdId	LR	RO	DVM	kNN	2017- 2018 Bahar	2017- 2018 Güz
Bölüm	std1	3,16	3,00	3,17	3,18	3,05	3,00
	std2	2,77	2,91	2,80	2,87	3,18	2,37
	std3	3,46	3,43	3,46	3,33	3,45	3,50
	std4	3,13	3,12	3,14	3,12	3,21	2,95
	std5	3,02	3,19	3,04	3,04	3,74	2,78
Fakülte	std1	2,98	3,01	3,00	3,07	3,27	2,86
	std2	2,44	2,40	2,48	2,41	1,85	2,22
	std3	2,74	2,81	2,77	2,85	2,88	2,58
	std4	3,87	3,65	3,86	3,68	4,00	3,92
	std5	3,40	3,35	3,40	3,40	3,44	3,36
Üniversite	std1	2,62	2,54	2,64	2,70	2,84	2,54
	std2	1,61	1,69	1,63	1,58	0,26	1,46
	std3	3,43	3,43	3,45	3,48	3,33	3,40
	std4	1,51	1,34	1,53	1,48	1,38	1,35
	std5	3,88	3,43	3,90	3,71	3,09	3,88

VM yöntemleri ölçülmüş verileri analiz eder ve benzer durumdaki örneklerin sonuçlarını tahmin eder. Bu yöntemlerin iki türü regresyon ve sınıflandırma algoritmalarıdır. Regresyon algoritmaları sürekli olan değerleri tahmin ederken, sınıflandırma algoritmaları kategorik değerleri tahmin eder. Sonuç olarak temel fark, çıktı değişkeninin regresyon için sayısal (veya sürekli), sınıflandırma için ise kategorik (veya ayrık) olmasıdır. Yani bağımsız değişken sürekli bir değişkendir. Bu nedenle tahmin sonuçlarının doğruluğu regresyon metrikleri ile ölçülmüştür. Genel not ortalamaları için öngörülen değerler dört farklı metrik (Belirlilik Katsayısı-CoD, Ortalama Mutlak Hata-MAE, Ortalama Kare Hata-MSE ve Kök Ortalama Kare Hatası-RMSE) kullanılarak değerlendirilmiştir (Botchkarev, 2018; Botchkarev, 2019; Willmott & Matsuura, 2005). Bir VM modelinin doğruluk katsayısı (R^2) ne kadar yüksek olursa, tahmin edilen değerler gerçek değerlere o kadar yakın olur. MSE, RMSE ve MAE değerleri ise modelin hata ölçüsüdür. Düşük değerler modelin yüksek performans gösterdiği anlamına gelir. Bu çalışmada modellerin performansları RMSE, MAE ve R^2 metrikleri ile hesaplanmıştır. Korelasyon katsayısının (R^2) 1,00 olması bağımlı değişken ile bağımsız değişkenler arasında mükemmel bir pozitif ilişkiyi gösterir; -1,00 tamamen negatif bir ilişkidir; 0,00 ise herhangi bir ilişkinin olmadığını gösterir. Korelasyon katsayısının mutlak değeri 0,70-1,00 arasında ise yüksek düzeyde bir ilişki, 0,70-0,30 arasında ise orta düzeyde bir ilişki ve 0,30-0,00 arasında ise düşük düzeyde bir ilişki vardır (Büyüköztürk, 2008, sayfa 32). Tablo 5'te öğrencilerin dönem sonu genel not ortalamalarının tahminine ilişkin analiz sonuçları gösterilmektedir.

Tablo 5. LR, RO, DVM ve kNN Modellerinin Performans Ölçütleri (LR, RF, SVM, and kNN Models' Performance Criteria)

	Model	RMSE	MAE	R ²
Bölüm	LR	0,453	0,290	0,455
	RO	0,434	0,280	0,499
	DVM	0,457	0,289	0,443
	kNN	0,480	0,312	0,387
Fakülte	LR	0,393	0,296	0,543
	RO	0,398	0,300	0,530
	DVM	0,393	0,295	0,542
	kNN	0,396	0,299	0,534
Üniversite	LR	0,413	0,315	0,723
	RO	0,422	0,320	0,712
	DVM	0,414	0,315	0,723
	kNN	0,419	0,319	0,715

Bölüm kategorisinde en yüksek R² (0,499) değerini RO algoritması vermiştir. Bu bulguya göre bölüm kategorisinde tahmin edilen veriler ile gerçek veriler arasında orta düzeyde bir korelasyon vardır. Ayrıca MAE değerine (0,280) göre gerçek veriler 0,280 puan yukarı veya aşağı sapma ile doğru tahmin edilmiştir. Tahmin sonuçlarının gerçek sonuçlara ne kadar yakın olduğunu ölçmeye olanak tanıyan bu metrik hata değeri ne kadar düşük ise o kadar iyi sonuçlar üretilmektedir MAE için kullanılan formül Denklem 2'de verilmiştir. Sonuç olarak RO algoritması örnekleri %93,00 oranında doğru sınıflandırmıştır.

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |Y_i - \lambda(X_i)|}{n} \quad (2)$$

Fakülte kategorisinde en yüksek R² (0,543) değerini LR algoritması vermiştir. Bu bulguya göre fakülte kategorisinde tahmin edilen veriler ile gerçek veriler arasında orta düzeyde bir korelasyon vardır. Bununla birlikte MAE değerine (0,296) göre, gerçek veriler 0,296 puan yukarı veya aşağı sapma ile doğru tahmin edilmiştir. Sonuç olarak LR algoritması örnekleri %92,60 oranında doğru sınıflandırmıştır.

Üniversite kategorisinde ise en yüksek R² (0,723) değerini LR ve DVM algoritmaları vermiştir. Bu bulguya göre üniversite kategorisinde tahmin edilen veriler ile gerçek veriler arasında yüksek düzeyde bir korelasyon vardır. Ayrıca MAE değerine (0,315) göre, gerçek değeri 0,315 puan yukarı veya aşağı sapma ile doğru tahmin edilmiştir. Sonuç olarak LR ve DVM algoritmaları örnekleri %92,13 oranında doğru sınıflandırmıştır.

4. Tartışma ve Sonuç (Discussion and Conclusion)

Bu çalışmada başarısız olma potansiyeli ve ilerleyen dönemlerde dersi ya da okulu bırakma ihtimali yüksek olan öğrencileri belirlemek için makine öğrenmesi yöntemlerine dayalı yeni bir model önerilmiştir. Öğrencilerin bir önceki döneme ait dönem sonu not ortalamalarını veri madenciliği yöntemleri ile analiz ederek sonraki dönemlerde alabileceği dönem sonu not ortalamalarını 3 kategoride (Bölüm, Fakülte, Üniversite bazında) tahmin edecek yeni bir model önerilmiştir. Veri seti bölüm, fakülte ve üniversite geneli olacak şekilde kategorilere ayrılmıştır. Çünkü geliştirilen modelin başarımı kategori bazında da değerlendirilecektir. Ayrıca dört makine öğrenmesi yönteminin (LR, RO DVM ve kNN) performans göstergeleri karşılaştırılmıştır. Kısaca bu çalışmada üç parametreye odaklanılmıştır. Birincisi tek bir bağımsız değişken ile akademik başarı tahmini yapmak. İkincisi dört makine öğrenmesi yönteminin (LR, kNN, SVM ve RF) performans göstergelerini karşılaştırmak. Üçüncüsü ise 3 farklı kategoride (Bölüm, Fakülte, Üniversite) tahmin sonuçlarını karşılaştırmaktır.

Üniversite kategorisindeki LR, RO, DVM ve kNN algoritmalarında öğrencilerin bir önceki döneme ait genel not ortalamaları ile bir sonraki yarıyıl genel not ortalamaları arasında yüksek düzeyde bir korelasyon bulunmuştur. Algoritmaların yüksek performans göstergelerinin yanı sıra tahminlerin tek değişken kullanılarak yapılmış olması çalışmanın özgünlüğünü göstermektedir. Bulgular, öğrencilerin bir önceki yarıyıldaki genel not ortalamalarının bir sonraki yarıyıldaki alacakları genel not ortalamalarını yüksek düzeyde açıkladığını ifade etmeye olanak sağlamaktadır.

Bölüm ve fakülte kategorilerinde LR, RO, DVM ve kNN algoritmaları öğrencilerin bir önceki dönem genel not ortalamaları ile bir sonraki dönem genel not ortalamaları arasında orta düzeyde bir korelasyon olduğunu ortaya koymuştur.

Literatürde önceki dönem sonu not ortalamasına (tek bir değişken ile) dayalı olarak dönem sonu not ortalamalarının tahmin edildiği herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu yüzden araştırma sonuçları öğrencilerin akademik başarı puanlarını çeşitli demografik ve sosyo-ekonomik değişkenlere dayalı olarak tahmin etmeye çalışan araştırmalar ile karşılaştırılmıştır. Hoffait ve Schyns (2017) çeşitli demografik özelliklerine dayalı olarak başarısızlık riski yüksek olan öğrencileri belirlemek için veri madenciliği teknikleri ile yeni bir model geliştirmiştir. LR, yapay sinir ağları (YSA) ve RO yöntemlerinin performans göstergelerini karşılaştırmıştır. Başarısızlık riski yüksek olan öğrencileri %90 doğruluk ile tahmin edebilmiştir. Waheed ve ark. (2020) akademik açıdan düşük performans riski taşıyan ve dersi bırakma potansiyeli olan öğrencileri derin öğrenme modelleri ile belirlemiştir. Öğrencilerin demografik özellikleri ile birlikte LMS'deki toplam 54 öğrenci davranış özelliği ile bir model geliştirmiştir. Model ortalama %88 oranında doğru sınıflandırma yapmıştır. Elde ettiği sonuçların karar verme süreçlerine katkıda bulunacağını iddia etmektedir. Benzer şekilde Xu ve ark. (2019) de öğrencilerin internet kullanımı davranış özellikleri ile akademik performansları arasındaki ilişkiyi makine öğrenmesi yöntemleri ile incelemiştir. Benzer şekilde Bernacki ve ark. (2020) öğrencilerin LMS'de bıraktıkları dijital izlere dayalı olarak akademik başarı puanlarını tahmin etmeye çalışmıştır. Dersi tekrar etmesi gereken öğrencileri %75 başarı oranı ile doğru tahmin etmiştir. Ahmad ve Shahzadi (2018) ise öğrencilerin ders çalışma alışkanlıkları, öğrenme becerileri ve akademik etkileşim özellikleri ile akademik performansları arasındaki ilişkiyi makine öğrenmesi yöntemleri ile belirlemiştir. Önerdikleri modelin %85 oranında doğru tahmin yaptığı sonucunu bulmuştur. Sonuç olarak yüksek düzeyde bir ilişki bulunmuştur ve makine öğrenmesi tekniklerinin eğitim-öğretim yönetiminin geliştirilmesine katkıda bulunacağını savunmaktadır. Makine öğrenmesi yöntemleri öğrencilerin demografik ve sosyo-ekonomik özellikleri ile akademik performansları arasındaki ilişkinin belirlenmesinde çok başarılı sonuçlar vermektedir (Cruz-Jesus vd., 2020; Costa-Mendes vd., 2020). Ancak dikkat edilirse bu çalışmaların hepsinde tahmin modelinin çok sayıda bağımsız değişken ile kurulduğu görülebilir.

Kısaca önerilen model öğrencilerin dönem sonu not ortalamalarını tek bir değişken ile yüz üzerinden ortalama 7 puan sapma ile doğru tahmin etmektedir. Dönem sonu not ortalamalarının tahmin edilmesi sayesinde başarısız olma riski olan ya da okulu bırakma riski olan öğrenciler önceden belirlenebilir. Eğitim-Öğretim otoritelerine bu öğrencilere düzeltici faaliyetler uygulayabilmeleri için fırsatlar verilebilir. LMS'lere makine öğrenmesi yöntemleri ile akademik performans tahmini yapan modüller eklenebilir. Böylece otomatik ve hızlı bir şekilde en doğru tahminler yapılabilir. Kısaca makine öğrenmesi yöntemleri ile yapılacak akademik başarı tahmini sayesinde öğrenme-öğretme süreçleri daha etkili ve daha verimli bir şekilde yönetilebilir. Zamanında ve hedef odaklı bireysel müdahaleler yapılması sağlanabilir.

Sonuç olarak; bu araştırma, öğrencinin akademik başarı düzeyini tespit etmede farklı değişkenler, farklı algoritmalar ve farklı bir yaklaşım kullansa da elde edilen sonuçlar önceki araştırmalarla uyumludur ve makine öğrenmesi yöntemlerinin öğrenci akademik motivasyonunu tahmin etmede etkili bir model oluşturabileceğini doğrulamaktadır. LR, RO, DVM ve kNN modellerinin başarı oranları çok yüksek düzeyde bulunmuştur. Ayrıca bu modellerin Bölüm, Fakülte ve Üniversite kategorileri için de uygulanabileceği görülmüştür. Bu tür veriye dayalı çalışmaların karar alma süreçlerine çok önemli katkılar sağlayabileceği söylenebilir. Ancak öğrencilerin desteklenmesi, karar alma süreçlerinin yönetilmesi ve öğrencilerin katılımının sağlanması için düzeltici stratejiler geliştirilmesi de gerekmektedir.

Bu çalışmada, Türkiye'deki bir devlet üniversitesindeki öğrencilerin verileri kullanılarak öğrencilerin önceki dönem genel not ortalamalarının veri madenciliği yöntemleri kullanılarak analiz edilmesi ve öğrencilerin sonraki dönemlerde alabilecekleri nihai genel not ortalamalarının tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Bu nedenle gelecekteki araştırmalarda farklı eğitim düzeyindeki öğrenciler üzerinde çalışılabilir. Ayrıca öğrencilerin akademik performanslarını etkileyen çeşitli bireysel farklılıklar dikkate alınarak gelecek çalışmalar planlanabilir. Son olarak farklı ülkelerde de benzer çalışmalar yapılabilir. Böylece farklı kültürlerdeki durum karşılaştırılabilir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

Kaynaklar (References)

- Ahmad, Z., & Shahzadi, E. (2018). Prediction of students' academic performance using artificial neural network. *Bulletin of Education and Research*, 40(3), 157–164.
- Akçapınar, G., Altun, A., & Aşkar, P. (2019). Using learning analytics to develop early-warning system for at-risk students. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 16. <https://doi.org/10.1186/s41239-019-0172-z>
- Aydemir, B. (2017). *Veri madenciliği yöntemleri kullanarak meslek yüksekokulu öğrencilerinin akademik başarı tahmini [Predicting academic success of vocational high school students using data mining methods]* [Master's Thesis]. Pamukkale University, Denizli, Turkey. <http://hdl.handle.net/11499/2464>
- Baker, R. S. J. d., & Yacef, K. (2009). The state of educational data mining in 2009 : A review and future visions. *Journal of Educational Data Mining*, 1(1), 3-16. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3554657>
- Bernacki, M. L., Chavez, M. M., & Uesbeck, P. M. (2020). Predicting achievement and providing support before STEM majors begin to fail. *Computers & Education*, 158. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2020.103999>
- Botchkarev, A. (2018). Performance metrics (error measures) in machine learning regression, forecasting and prognostics: Properties and typology. Retrieved from http://www.gsrc.ca/metrics_typology2018.pdf at 15 February 2021.
- Botchkarev, A. (2019). A new typology design of performance metrics to measure errors in machine learning regression algorithms. *Interdisciplinary Journal of Information, Knowledge & Management*, 14.
- Burgos, C., Campanario, M. L., De, D., Lara, J. A., Lizcano, D., & Martínez, M. A. (2018). Data mining for modeling students' performance : A tutoring action plan to prevent academic dropout. *Computers and Electrical Engineering*, 66(2018), 541–556. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2017.03.005>
- Büyükoztürk, Ş. (2008). *Sosyal bilimler için veri analizi el kitabı*. Ankara: PegemA Yayıncılık (9th ed., p. 201). Ankara: PegemA.
- Calvet Liñán, L., & Juan Pérez, Á. A. (2015). Educational data mining and learning analytics: Differences, similarities, and time evolution. *RUSC. Universities and Knowledge Society Journal*, 12(3), 98–112. <https://doi.org/10.7238/rusc.v12i3.2515>
- Casquero, O., Ovelar, R., Romo, J., Benito, M., & Alberdi, M. (2016). Students' personal networks in virtual and personal learning environments: A case study in higher education using learning analytics approach. *Interactive Learning Environments*, 24(1), 49–67. <https://doi.org/10.1080/10494820.2013.817441>
- Chakraborty, B., Chakma, K., & Mukherjee, A. (2016). A density-based clustering algorithm and experiments on student dataset with noises using Rough set theory. *Proceedings of 2nd IEEE International Conference on Engineering and Technology, ICETECH 2016, March*, 431–436. <https://doi.org/10.1109/ICETECH.2016.7569290>
- Cihan, P., Gökçe, E., & Kalipsiz, O. (2017). Veteriner hekimlik alanında makine öğrenmesi uygulamaları üzerine bir derleme. *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 23(4), 673–680. <https://doi.org/10.9775/kvfd.2016.17281>
- Cortes, C., & Vapnik, V. (1995). Support-Vector Networks. *Machine Learning*, 20(3), 273–297. <https://doi.org/10.1109/64.163674>
- Costa-Mendes, R., Oliveira, T., Castelli, M., & Cruz-Jesus, F. (2020). A machine learning approximation of the 2015 Portuguese high school student grades: A hybrid approach. *Education and Information Technologies*. <https://doi.org/10.1007/s10639-020-10316-y>
- Cover, T. M., & Hart, P. E. (1967). Nearest neighbor pattern classification. *IEEE Transactions on Information Theory*, 13(1), 21–27. https://doi.org/10.1007/978-0-387-35973-1_862
- Cruz-Jesus, F., Castelli, M., Oliveira, T., Mendes, R., Nunes, C., Sa-Velho, M., & Rosa-Louro, A. (2020). Using artificial intelligence methods to assess academic achievement in public high schools of a European Union country. *Heliyon*, 6(6). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04081>
- Delen, D. (2010). A comparative analysis of machine learning techniques for student retention management. *Decision Support Systems*, 49(4), 498–506. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2010.06.003>
- Delen, D. (2011). Predicting student attrition with data mining methods. *Journal of College Student Retention: Research, Theory and Practice*, 13(1), 17–35. <https://doi.org/10.2190/CS.13.1.b>
- Fernandes, E., Holanda, M., Victorino, M., Borges, V., Carvalho, R., & Erven, G. Van. (2019). Educational data mining : Predictive analysis of academic performance of public school students in the capital of Brazil. *Journal of Business Research*, 94, 335–343. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2018.02.012>
- Fidalgo-Blanco, Á., Sein-Echaluce, M. L., García-Peñalvo, F. J., & Conde, M. Á. (2015). Using learning analytics to improve teamwork assessment. *Computers in Human Behavior*, 47, 149–156. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2014.11.050>
- García-González, J. D., & Skrita, A. (2019). Predicting academic performance based on students' family environment: Evidence for Colombia using classification trees. *Psychology, Society and Education*, 11(3), 299–311. <https://doi.org/10.25115/psy.v11i3.2056>
- Gök, M. (2017). Makine öğrenmesi yöntemleri ile akademik başarının tahmin edilmesi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 5(3), 139–148.
- Hardman, J., Paucar-Caceres, A., & Fielding, A. (2013). Predicting students' progression in higher education by using the random forest algorithm. *Systems Research and Behavioral Science*, 30(2), 194–203. <https://doi.org/10.1002/sres.2130>
- Hoffait, A., & Schyns, M. (2017). Early detection of university students with potential difficulties. *Decision Support Systems*, 101(2017), 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2017.05.003>
- Hu, Y.-H., Lo, C.-L., & Shih, S.-P. (2014). Developing early warning systems to predict students' online learning performance. *Computers in Human Behavior*, 36, 469–478. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2014.04.002>

- Hung, H.-C., Liu, I.-F., Liang, C.-T., & Su, Y.-S. (2020). Applying educational data mining to explore students' learning patterns in the flipped learning approach for coding education. *Symmetry*, 12(2). <https://doi.org/10.3390/sym12020213>
- Kardaş, K., & Güvenir, A. (2020). Kısa sınavların , ödevlerin ve projelerin dönem sonu sınavına olan etkilerinin farklı makine öğrenmesi teknikleri ile araştırılması. *EMO Bilgisayar Dergisi*, 10(1), 22–29.
- Kaur, P., Singh, M., & Josan, G. S. (2015). Classification and prediction based data mining algorithms to predict slow learners in education sector. *Procedia Computer Science*, 57, 500–508. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.07.372>
- Kılınç, Ç. (2015). *Üniversite öğrenci başarısı üzerine etki eden faktörlerin veri madenciliği yöntemleri ile incelenmesi [Examining the effects on university student success by data mining techniques]* [Master's Thesis]. Eskişehir Osmangazi University, Turkey. <http://hdl.handle.net/11684/1256>
- Lara, J. A., Lizcano, D., Martínez, M. A., Pazos, J., & Riera, T. (2014). A system for knowledge discovery in e-learning environments within the European Higher Education Area - Application to student data from Open University of Madrid, UDIMA. *Computers and Education*, 72, 23–36. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.10.009>
- Musso, M. F., Hernández, C. F. R., & Cascallar, E. C. (2020). Predicting key educational outcomes in academic trajectories: A machine-learning approach. *Higher Education*, 80(5), 875–894. <https://doi.org/10.1007/s10734-020-00520-7>
- Nandeshwar, A., Menzies, T., & Nelson, A. (2011). Learning patterns of university student retention. *Expert Systems with Applications*, 38(12), 14984–14996. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.05.048>
- Ortiz, E. A., & Dehon, C. (2008). What are the factors of success at university? A case study in Belgium. *CESifo Economic Studies*, 54(2), 121–148. <https://doi.org/10.1093/cesifo/ifn012>
- Ortiz, E. A., & Dehon, C. (2013). Roads to success in the Belgian French Community's Higher Education System: Predictors of dropout and degree completion at the Université Libre de Bruxelles. *Research in Higher Education*, 54(6), 693–723. <https://doi.org/10.1007/s11162-013-9290-y>
- Pillay, N. (2020). The impact of genetic programming in education. *Genetic Programming and Evolvable Machines*, 21, 87–97. <https://doi.org/10.1007/s10710-019-09362-4>
- Ratra, R., & Gulia, P. (2020). Experimental evaluation of open source data mining tools (WEKA and Orange). *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 68(8), 30–35. <https://doi.org/10.14445/22315381/IJETT-V68I8P206S>
- Rebai, S., Yahia, F. B., & Essid, H. (2020). A graphically based machine learning approach to predict secondary schools performance in Tunisia. *Socio-Economic Planning Sciences*, 70. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2019.06.009>
- Rizvi, S., Rienties, B., & Ahmed, S. (2019). The role of demographics in online learning: A decision tree based approach. *Computers & Education*, 137, 32–47. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.04.001>
- Shorfuzzaman, M., Hossain, M. S., Nazir, A., Muhammad, G., & Alamri, A. (2019). Harnessing the power of big data analytics in the cloud to support learning analytics in mobile learning environment. *Computers in Human Behavior*, 92, 578–588. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2018.07.002>
- Sutoyo, E., & Almaarif, A. (2020). Educational data mining for predicting student graduation using the naïve bayes classifier algorithm. *Jurnal RESTI (Rekayasa Sistem Dan Teknologi Informasi)*, 4(1), 95–101. <https://doi.org/10.29207/resti.v4i1.1502>
- Vandamme, J. -P., Meskens, N., & Superby, J. -F. (2007). Predicting academic performance by data mining methods. *Education Economics*, 15(4), 405–419. <https://doi.org/10.1080/09645290701409939>
- Viberg, O., Hatakka, M., Bälter, O., & Mavroudi, A. (2018). The current landscape of learning analytics in higher education. *Computers in Human Behavior*, 89, 98–110. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2018.07.027>
- Waheed, H., Hassan, S. U., Aljohani, N. R., Hardman, J., Alelyani, S., & Nawaz, R. (2020). Predicting academic performance of students from VLE big data using deep learning models. *Computers in Human Behavior*, 104. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2019.106189>
- Willmott, C. J., & Matsuura, K. (2005). Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root mean square error (RMSE) in assessing average model performance. *Climate research*, 30(1), 79–82.
- Xu, X., Wang, J., Peng, H., & Wu, R. (2019). Prediction of academic performance associated with internet usage behaviors using machine learning algorithms. *Computers in Human Behavior*, 98, 166–173. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2019.04.015>
- Zabriskie, C., Yang, J., DeVore, S., & Stewart, J. (2019). Using machine learning to predict physics course outcomes. *Physical Review Physics Education Research*, 15(2). <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.15.020120>



GÖRÜNTÜ ÖN İŞLEME TEKNİKLERİ VE DERİN ÖĞRENME İLE BİTKİ ZARARLILARININ SINIFLANDIRILMASI

Şevval Ezgi EZE¹, Selcan KAPLAN BERKAYA^{1*}

¹Eskişehir Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Derin Öğrenme, Transfer Öğrenimi, Görüntü Ön İşleme, Bitki Zararlısı Sınıflandırma, Akıllı Tarım.</i>	Bitki zararlılarının erken dönemde, etkili bir şekilde tespit edilip kontrol altına alınmalarını sağlamak bitkilerin korunmasına, ürün veriminin artırılmasına ve tarım ekonomisindeki kayıpların azaltılmasına yardımcı olmaktadır. Bu çalışmada, bitki zararlılarının sınıflandırılması için derin öğrenme tabanlı yöntemler önerilmiştir. Aynı zamanda farklı görüntü ön işleme tekniklerinin performansa etkisi araştırılmıştır. Önerilen modeller, önceden eğitilmiş beş farklı derin sinir ağı (GoogLeNet, ResNet-18, ResNet-101, VGG-16 ve VGG-19) ile transfer öğrenimi ve bu ağlardan çıkarılan öznetelikler ile Destek Vektör Makinesi sınıflandırıcısını kullanmaktadır. Ayrıca yeşil renk kanalı çıkarımı, veri artırımı, histogram eşitleme, derin öğrenme tabanlı segmentasyon ile arka plan eliminasyonu gibi farklı görüntü ön işleme teknikleri ayrı ayrı ve birlikte kullanılarak kapsamlı bir performans analizi yapılmıştır. Deneyler, sırasıyla 10 ve 40 bitki zararlısı türü içeren Li ve D0 veri setleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucunda iki veri setinde de veri artırımı ve ResNet-101 ağı ile transfer öğrenimi yöntemi kullanılarak sırasıyla %96.36 ve %99.63 doğruluk ile en yüksek performanslar elde edilmiştir. Deneysel sonuçlar, önerilen modellerin bitki zararlısı kontrolünde etkin bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir.

CLASSIFICATION OF INSECT PESTS WITH DEEP LEARNING AND IMAGE PREPROCESSING TECHNIQUES

Keywords	Abstract
<i>Deep Learning, Transfer Learning, Image Processing, Insect Pest Classification, Smart Agriculture.</i>	Early and effective insect pest detection and control help to protect plants, increase crop yields, and reduce losses in the agricultural economy. In this paper, deep learning-based methods are proposed for classifying insect pests. Additionally, the impact of various image preprocessing techniques on performance has been investigated. The proposed models utilize transfer learning with five different pre-trained deep neural networks (GoogLeNet, ResNet-18, ResNet-101, VGG-16, and VGG-19), and Support Vector Machine classifier with features extracted from these networks. Furthermore, a comprehensive performance analysis is conducted using various image preprocessing techniques such as green color channel extraction, data augmentation, histogram equalization, and background elimination with deep learning based segmentation, individually and in combination. The experiments were conducted on the Li and D0 datasets containing 10 and 40 insect pest species, respectively. As a result of the experiments, the highest performances were obtained on both datasets, with accuracy rates of 96.36% and 99.63%, respectively, using data augmentation and transfer learning with the ResNet-101 network. The experimental results indicate that the proposed models can be effectively used in insect pest control.

Alıntı / Cite

Eze, Ş. E., Kaplan Berkaya, S., (2024). Görüntü Ön İşleme Teknikleri ve Derin Öğrenme ile Bitki Zararlılarının Sınıflandırılması. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 12(2), 455-465.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process
Şevval Ezgi EZE, 0009-0005-3193-592X	Başvuru Tarihi / Submission Date 26.05.2024
Selcan KAPLAN BERKAYA, 0000-0001-6728-4050	Revizyon Tarihi / Revision Date 06.06.2024
	Kabul Tarihi / Accepted Date 12.06.2024
	Yayın Tarihi / Published Date 30.06.2024

* İlgili yazar / Corresponding author: skb@eskisehir.edu.tr, +90-222-213-8110

CLASSIFICATION OF INSECT PESTS WITH DEEP LEARNING AND IMAGE PREPROCESSING TECHNIQUES

Şevval Ezgi EZE, Selcan KAPLAN BERKAYA^{1†}

¹ Eskisehir Technical University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, Eskisehir, Turkiye

Highlights

- Deep learning-based models are proposed for insect pest classification.
- The impact of various image preprocessing techniques on performance has been investigated.
- Experiments on two datasets showed that the proposed models are effective for insect pest control.

Purpose and Scope

Early and effective insect pest detection and control help to protect plants, increase crop yields, and reduce losses in the agricultural economy. In this paper, deep learning-based methods are proposed for classifying insect pests. Additionally, the impact of various image preprocessing techniques on performance has been investigated.

Design/methodology/approach

The proposed models utilize transfer learning with five different pre-trained deep neural networks (GoogLeNet, ResNet-18, ResNet-101, VGG-16, and VGG-19), and Support Vector Machine classifier with features extracted from these networks. Furthermore, a comprehensive performance analysis is conducted using various image preprocessing techniques such as color channels, color model transformation, data augmentation, histogram equalization, and background elimination with segmentation, individually and in combination. The experiments were conducted on the Li and D0 datasets containing 10 and 40 insect pest species, respectively.

Findings

As a result of the experiments, the highest performances were obtained on both datasets, with accuracy rates of 96.3 and 99.63%, respectively, using data augmentation and transfer learning with the ResNet-101 network. The experimental results indicate that the proposed models can be effectively used in insect pest control. The proposed models achieve high performance comparable to or surpassing results reported in the literature.

Practical implications

This paper demonstrates that deep learning-based methods can achieve high accuracy in identifying insect pests and suggests several practical implications for agricultural practices and pest management: improved insect pest classification and pest control strategies, reduced agricultural losses, and data-driven decision-making.

Social Implications

The research on deep learning-based methods for detecting and controlling insect pests has the potential to impact society in several significant ways: 1) Agricultural Sustainability and Environmental Impact: The proposed models' high accuracy rates in early pest detection can lead to more targeted pest control strategies. This precision reduces the need for broad-spectrum pesticides, contributing to a decrease in chemical usage in agriculture. As a result, the environmental impact of farming can be minimized, promoting more sustainable practices and reducing harm to non-target species and ecosystems, 2) Economic Benefits and Food Security: Effective detection and control of insect pests can lead to increased crop yields and reduced agricultural losses.

Originality

Various deep learning models and image preprocessing techniques were utilized to conduct a comprehensive performance analysis. With the new methods employed in experiments on two different datasets, results comparable to or superior to those in the literature were achieved.

[†] Corresponding author: skb@eskisehir.edu.tr, +90-222-213-8110

1. Giriş (Introduction)

Tarım, insanların sağlıklı bir yaşam sürmeleri için temel gıda ürünlerinin üretimi, kalitelerinin artırılması, bu ürünlerin uygun şartlarda depolanması ve işlenip değerlendirilmesi ile ilgilenen bir sektördür. Dünya nüfusu artmaya devam ettikçe mahsul verimliliğini, ekonomik istikrarı ve çevrenin korunmasını sağlamak için sürdürülebilir ve dayanıklı tarım uygulamalarına yönelik talep artmaktadır. Tarımda verimli gıda üretimi sağlamak önemlidir ve tarımla ilgili çoğu çalışmada, ürünü korumaya yönelik olarak iklim değişikliğinin mahsuller üzerindeki yan etkisi, toprak sağlığının bozulması, su kıtlığı, haşere ve hastalık yönetimi gibi çözüme ihtiyaç duyan sorunlara, yenilikçi teknolojiler ile cevap veren konular ele alınmaktadır. Bitkinin kalitesinde, gelişiminde ve fiziksel yapısında olumsuz etkiye neden olmalarından dolayı başlıca tarım sorunlarından biri zararlı böceklerdir. Karmaşık yapılara ve farklı türler arasında görünüş benzerliğine sahip olmaları, bu zararlı böceklerin doğal ortamından ayırt edilebilmesini zorlaştırmaktadır. Mahsul hastalıklarına ve önemli ürün kayıplarına neden olan zararlı böceklerin yayılmasının önlenmesi için mahsullerdeki bu zararlıların erken dönemde tespiti ve sınıflandırılması oldukça önemlidir. Bu sorunun çözümüne yönelik olarak son zamanlarda görüntü işleme ve derin öğrenme tekniklerine dayalı çeşitli yöntemler geliştirilmiştir (Distante vd., 2020).

(Xia vd., 2018) çalışmasında 24 sınıflı mahsul zararlılarını içeren Xie1 veri setindeki (Xie vd., 2015) görüntülerde böceklerin hızlı ve doğru bir şekilde tespit edilmesi için VGG-19 ağı kullanılmıştır. Ayrıca yazarlar, ön işleme adımı olarak, veri setinin küçük olması sebebiyle tüm görüntüleri 90°, 180°, 270° açılarda döndürerek veri artırımı, aynı zamanda verilerin geçerliliğini sağlamak amacıyla görüntülerdeki piksel değerlerini rastgele değiştiren, bazı piksel noktalarını beyazlatan bazı piksel noktalarını karartan tuz ve biber gürültüsünü görüntülere eklemişler ve %89.22 mAP (mean Average Precision) değerine ulaşmışlardır. (Xie vd., 2018) çalışmasında yazarlar haşere görüntülerinin sınıflandırılmasında çok seviyeli öğrenme özniteliklerini içeren temsilleri oluşturmak için üç adım izlemişlerdir. İlk adım olan denetimsiz sözlük öğrenme aşamasında, görüntü parçalarından özniteliklerin çıkarılması hedeflenmiştir. İkinci adım, öznitelik kodlama aşamasında görüntü parçalarının öznitelikleri, önceden oluşturulan sözlüğe göre kodlanır. Üçüncü ve son adımda çok seviyeli bir örnekleme süreci uygulanır. Bu süreçte, parça düzeyindeki özniteliklerin yanlış hizalama sorununu çözmek için filtreler birden çok ölçekte uygulanır ve bu çeşitli havuzlama seviyeleriyle birleştirilerek özniteliklerin daha doğru bir şekilde çıkarılmasını sağlamaktadır. Bu üç adımın birleşimi ile haşere görüntülerinin çok seviyeli öğrenme özniteliklerine dönüştürülmesini sağlamışlardır. Deneyleri dört veri seti üzerinde gerçekleştirmişlerdir. Kendi oluşturdukları D0 veri setinde %89.30 doğruluk değeri olmak üzere en yüksek sonucu D1 (Xiao vd., 2012) veri setinde %98.6 sınıflandırma doğruluğu ile elde etmişlerdir.

(Thenmozhi ve Reddy, 2019) çalışmasında yazarlar, AlexNet, ResNet, GoogLeNet ve VGGNet gibi önceden eğitilmiş derin sinir ağlarını üç farklı genel veri seti NBAIR, Xie1 ve D0 üzerinde transfer öğrenme yöntemini kullanarak deneylerini gerçekleştirmişlerdir. Ağın aşırı uyumunu önlemek için yansıtma, ölçeklendirme, döndürme ve görüntülerin konumunu değiştirme gibi veri artırma teknikleri de uygulamışlardır. Deneyler sonucunda ulaştıkları doğruluk değerleri NBAIR'de %96.75, Xie1'de %97.47 ve D0'da %95.97'dir. (Wu vd., 2019) çalışmalarında, 102 sınıfa ait 75.000'den fazla görüntü içeren IP102 adlı büyük ölçekli bir veri seti tanıtılmıştır. Yazarlar, destek vektör makinesi (SVM) ve K-En yakın komşu sınıflandırıcısını kullanarak %49.50 doğruluk elde etmişlerdir. (Nanni vd., 2020) çalışmasında, bitki zararlılarını sınıflandırmak için görüntünün en önemli piksellerini vurgulamak amacıyla belirginlik yöntemleri ve evrişimsel sinir ağlarının (CNN, ing. Convolutional Neural Network) kombinasyonuna dayanan otomatik bir sınıflandırıcı önerilmiştir. Önerilen yöntemin performans değerlendirmesini, 10 sınıflı bir veri seti (Deng vd., 2018) ve 102 sınıflı IP102 veri seti (Wu vd., 2019) üzerinde gerçekleştirmişlerdir. Önerilen yaklaşımları ile, küçük ölçekli veri setinde %92.43 ve IP102 veri setinde ise %61.93 başarı oranına ulaşmışlardır. (Li vd., 2020) çalışmasında ise yazarlar, manuel olarak toplanan ve on farklı mahsul zararlısı türünü içeren Li olarak adlandırdıkları yeni bir veri seti oluşturmuşlardır. Bu veri setinde zararlı sınıflandırması için önceden eğitilmiş VGG-16, VGG-19, ResNet50, ResNet-152 ve GoogLeNet ağları kullanarak yaptıkları deneyler sonucunda en yüksek performans olan %96.67 doğruluk değerine ince ayar yaptıkları GoogLeNet modeliyle ulaşmışlardır. (Yang vd., 2021b) çalışmasında, yazarlar sera ortamındaki beyaz sineklerin tanınması ve sayımı için, seradan toplanan kendi oluşturdukları veri seti üzerinde görüntü işleme teknikleri kullanmıştır. Çalışmalarında, zararlıları tespit etmek için HSI renk uzayının I bileşeninde Prewitt operatörü ve Lab renk uzayının b bileşeninde Canny operatörü kullanan bir yöntem önermişlerdir. Bu yöntem ile, görüntüleri iki farklı renk uzayında işleyerek ve çoğunluk oylama uyguladıkları topluluk öğrenme ile %95.73 tanıma doğruluğu elde etmişlerdir. (Chen vd., 2023) çalışmasında yazarlar, biber hastalıklarının ve zararlılarının tanınmasında HSV renk uzayını kullanan CNN'lere dayalı bir tanıma yöntemi önermişlerdir. Önerdikleri algoritma ile, RGB renk uzayı ile %66.15 hassasiyet ve %51.48 kesinlik, HSV renk uzayı ile %72.44 hassasiyet ve %63.26 kesinlik değeri elde etmişlerdir. (Toscano vd., 2024) çalışmasında, koza kurdu popülasyonlarının sınıflandırılma performansının iyileştirilmesi için transfer öğrenme tekniklerinin kullanımı araştırılmıştır. Makine öğrenimi algoritmalarının performansını artırmak amacıyla örnek tabanlı, öznitelik tabanlı ve parametre tabanlı transfer öğrenme teknikleri üzerinde durulmuştur. Az örnekli ve az öznitelikli veri setleri kullanılarak, koza kurdu saldırı seviyesini tahmin etmek için iklim

değişkenlerini de dahil etmişlerdir. Sonuçlar, az örnekli durumda %90.79, az öznelikli durumda ise %96.28 doğrulukla, transfer öğrenme tekniklerinin sınıflandırma performansını iyileştirdiğini göstermiştir.

Sınıflandırma aşamalarının performansının artırılması için görüntülerin kalitesinin artırılması ve görsel özelliklerinin iyileştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada, bitki zararlılarının etkili bir şekilde tespit edilip kontrol altına alınmalarını sağlamak amacıyla, farklı görüntü ön işleme ve derin öğrenme tekniklerine dayalı sınıflandırma modelleri önerilmiştir. Önerilen modeller, GoogLeNet (Szegedy vd., 2015), ResNet-18 (He vd., 2016), ResNet-101 (He vd., 2016), VGG-16 (Simonyan ve Zisserman, 2014) ve VGG-19 (Simonyan ve Zisserman, 2014) gibi önceden eğitilmiş beş farklı derin sinir ağı ile transfer öğrenimi ve bu ağlardan çıkarılan öznelikler ile Destek Vektör Makinesi (SVM) sınıflandırıcısını kullanmaktadır. Deneyler, sırasıyla 10 ve 40 bitki zararlısı türü içeren Li ve D0 veri setleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bitki zararlılarının tespitinde, renkleri ve kontrastı dengelemek ve görüntüyü daha anlamlı bir şekilde analiz etmek için farklı ön işleme tekniklerinin etkisi üzerine çalışılmıştır. Renk kanalı, veri artırımı, histogram eşitleme, segmentasyon ile arka plan eliminasyonu gibi farklı görüntü ön işleme teknikleri ayrı ayrı ve birlikte kullanılarak kapsamlı bir performans analizi yapılmıştır.

Makalenin genel akışı şu şekilde organize edilmiştir: Bölüm 2'de kullanılan veri setlerinin içeriği hakkında bilgi verilmiş, önerilen sınıflandırma modelleri ve kullanılan farklı görüntü ön işleme teknikleri ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır. Bölüm 3'te deneysel çalışmalar ve bu çalışmaların sonuçları sunulmuştur. Bölüm 4'te ise, son olarak çalışma ile ilgili genel değerlendirmeler ve gelecek çalışmalar için öneriler yer almaktadır.

2. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

2.1. Veri Seti (Dataset)

Bu çalışmada, performans ölçümü için iki farklı veri seti kullanılmıştır. Bunlardan ilki, (Li vd., 2020) çalışmasında oluşturulan ve Grylotalpa, Leafhopper, Locust, Oriental Fruit Fly, Pieris Rapae Linnaeus, Snail, Spodoptera Litura, Stinkbug, Cydia Pomonella, Weevil olmak üzere 10 farklı sınıfa ait toplamda 5689 görüntü içeren bir mahsul zararlısı veri setidir. Şekil 1'de, Li veri setindeki her bir sınıfa ait örnek bir görüntü verilmiştir. Li veri seti, Google, Baidu, Yahoo ve Bing gibi popüler arama motorlarından elde edilen görsellerle birlikte, Li vd. tarafından Apple 7 Plus cep telefonu kullanılarak dış mekân çekimleri yapılarak oluşturulmuştur. Bu haşereler genellikle küçük boyutlara sahip olduklarından doğal ortamlarında çıplak gözle bile hızlı bir şekilde tespit etmek ve özellikle tarlaya bulaştıklarında kurtulmak zordur. Bu sebeple mahsul veriminde büyük kayıplara neden olabilirler. İkinci olarak ise, (Xie vd., 2018) çalışmasında oluşturulan mısır, soya fasulyesi, buğday ve kanola dahil olmak üzere birçok yaygın tarla ürününde bulunan türlerin çoğunu kapsayan 40 farklı böcek sınıfını içeren ve 4508 RGB görüntüden oluşan açık erişimli D0 veri seti kullanılmıştır. Şekil 2'de ise, D0 veri setindeki sınıflara ait örnek görüntüler listelenmiştir.



Şekil 1. Li Veri Setindeki 10 Farklı Sınıfa Ait Örnek Görüntüler (Sample Images of 10 Different Classes in the Li Dataset)



Şekil 2. D0 Veri Setindeki 40 Farklı Sınıfa Ait Örnek Görüntüler (Sample Images of 40 Different Classes in the D0 Dataset)

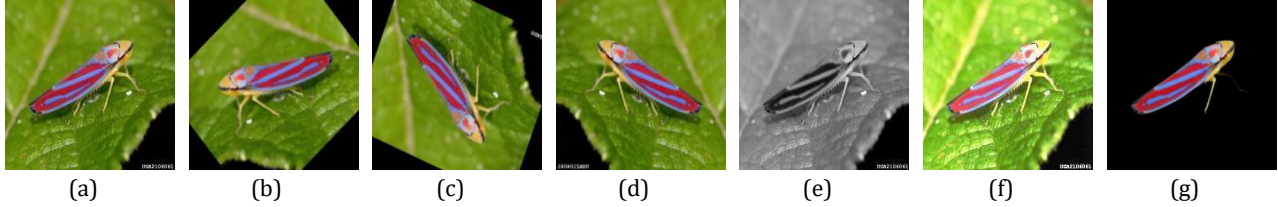
2.2. Ön İşleme Teknikleri (Preprocessing Techniques)

Veriler, genellikle gürültü, bozulma, eksik ve tutarsız bilgiler gibi çeşitli sorunlar içerebilir. Bu nedenle, veri analizi ve diğer veri odaklı uygulamalarda güvenilir sonuçlar elde etmek için öncelikle ön işleme adımlarının gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Veri ön işleme, verilerdeki gürültüyü azaltmak, eksik veya tutarsız verileri düzeltmek, gereksiz özellikleri temizlemek ve genel olarak veri kümesinin homojenliğini sağlamak için kullanılan farklı teknikleri içermektedir. Sınıflandırma ve tespit uygulamalarında kullanılan veri setlerini hazırlamak için farklı ön işleme yöntemleri mevcuttur. Bu adımlar, veri olarak görüntüler ele alındığında döndürme, temizleme, veri artırımı ve renk modeli dönüşümü gibi sınıflandırma algoritmalarının daha güvenilir ve etkili olmasını sağlamak için kritik öneme sahip olan uygulamalardır (Maharana vd., 2023).

Görüntü ön işleme sürecinde, farklı renk kanalları ve renk modelleri önemli bir rol oynar. Görüntülerin renklerini temsil etmek için kullanılan Kırmızı (R), Yeşil (G), ve Mavi (B) olmak üzere üç temel renk bileşeni bulunmaktadır. Bu renk bileşenleri, bir görüntünün renk paletini oluşturan temel yapı taşlarıdır. Yüksek bir R değeri, görüntüdeki kırmızı tonların belirginliğini artırırken, yüksek bir G değeri yeşil tonların ve yüksek bir B değeri de mavi tonların belirginliğini artırır. Bu bileşenler, farklı oranlarda birleşerek renklerin zenginliğini oluşturur ve görsel deneyimi çeşitlendirir. Renk kanallarının ayrı ayrı kullanımı ile karmaşık görüntü işleme problemleri basit parçalara ayrılır ve daha sonraki algoritma adımları için işlem kolaylığı sağlanır.

Bu çalışmada farklı modellerin bitki zararlısı sınıflandırma için önerilmesinin yanı sıra, görüntü ön işleme sürecinde, belirli renk kanalı, histogram eşitleme, segmentasyon ile arka plan eliminasyonu ve veri artırımının sınıflandırma performansına etkisi araştırılmaktadır. Çalışmada kullanılan ön işleme teknikleri, belirli renk kanalı üzerinden görüntülere renk ayarı, kontrast artırma ve renk dengeleme yapılması gibi işlemleri içermektedir. Histogram eşitleme, zayıf kontrastlı görüntülerin kontrastını artırır ve görüntünün piksel değerlerinin dağılımını değiştirerek görüntüyü daha net ve detaylı hale getirir. Görüntülerdeki zararlıların genellikle yeşil bitkiler üzerinde olduğu değerlendirilerek, modele girdi olarak görüntünün G kanalı verilmiştir. Bu yeşil renk kanalının çıkarılmasıyla görüntüdeki zararlılar daha belirgin hale gelmiştir. Görüntülerde arka plan karmaşıklığından kaynaklı böceği tespit edememe durumunu ortadan kaldırmaya yönelik derin öğrenme tabanlı bir segmentasyon yöntemi olan ve piksel düzeyinde arka plana ait olasılık haritasını tahmin eden U-Net tabanlı mimari (Qin vd., 2020) kullanılarak bitki zararlıları segmente edilip, ardından arka plan elimine edilmiştir. Veri setindeki görüntülerin artırımı, bitki zararlılarının tanınması, tespiti ve kullanılan modelin öğrenimi açısından kolaylık sağlamaktadır (Nanni vd., 2020). Veri artırımı işlemi; iki veri setinde de test verileri sabit tutularak, eğitim verilerine çeşitli döndürme ve yansıtma yöntemleri uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Görüntüler, 90° döndürme ve X yansıma, 120° döndürme ve Y yansıma gibi yöntemlerle artırılmıştır. Veri artırımı sonrasında her sınıf için üç

kat artırımı yapılmıştır. Görüntülerde veri artırımı, görüntü sınıflandırma problemlerinde farklı tekniklerle (döndürme, ölçeklendirme, yansıma vb.) mevcut veri setini çoğaltarak modelin genelleme yeteneğini iyileştirir ve aşırı öğrenmeyi azaltır. Bu yöntem, özellikle küçük veri setlerinde faydalıdır, çünkü modelin daha çeşitli ve zengin bir veri ile eğitilmesini sağlar, böylece doğruluk oranlarını artırır ve modelin daha sağlam hale gelmesine yardımcı olur. Ayrıca, veri artırımı sınıflar arasındaki dengesizliği gidererek her sınıfı eşit derecede öğrenmeyi teşvik eder ve modelin gerçek dünya senaryolarında daha iyi performans göstermesine katkıda bulunur (Shorten ve Khoshgoftaar, 2019). Tüm ön işleme sürecine ait örnek görüntüler Şekil 3'te sunulmaktadır.



Şekil 3. Ön İşleme Teknikleri Uygulanmış Örnek Görüntüler. (a) Orijinal Görüntü, (b) 90° Döndürme + X Yansıma, (c) 120° Döndürme + Y Yansıma, (d) X Yansıma + Y Yansıma (e) G Kanalı Çıkarımı, (f) Histogram Eşitleme, (g) Segmentasyon ile Arka Plan Eliminasyonu

2.3. Önerilen Sınıflandırma Modelleri (Proposed Classification Models)

Bu çalışmada önerilen ilk yöntem olan çeşitli önceden eğitilmiş derin sinir ağları ile transfer öğrenimi, az sayıda eğitim görüntüsüyle bile yüksek sınıflandırma performansı elde edilebilmesine olanak sağlamaktadır. Transfer öğrenimde, önceden eğitilmiş bir model, farklı veri setlerinde kullanılabilir ve bu modelin daha önceden öğrendiği özellikler, diğer görevlerde de yararlı olabilir. Bu nedenle, önceden eğitilmiş modeldeki belirli katmanlar değiştirilerek, yeni görev için yeniden eğitilir ve yeni bir model oluşturulur. Bu yöntem sayesinde model eğitimi esnasında zamandan tasarruf sağlanır. Transfer öğrenimi ile önceden eğitilmiş bir sinir ağını kullanmak, genellikle bir sinir ağını sıfırdan eğitmekten çok daha hızlı ve kolaydır. Bu ağlar bir milyondan fazla görüntü üzerinde eğitilmiştir ve görüntüleri klavye, kahve kupası, kalem ve birçok hayvan gibi 1000 nesne kategorisine göre sınıflandırabilmektedir. ILSVRC yarışmasında, ImageNet veri kümesi kullanılarak en iyi görüntü sınıflandırma ve nesne algılama modellerini belirlenmiş aynı zamanda sinir ağlarının performansını artırmak ve genelleme yeteneklerini geliştirmek için kullanılmıştır.

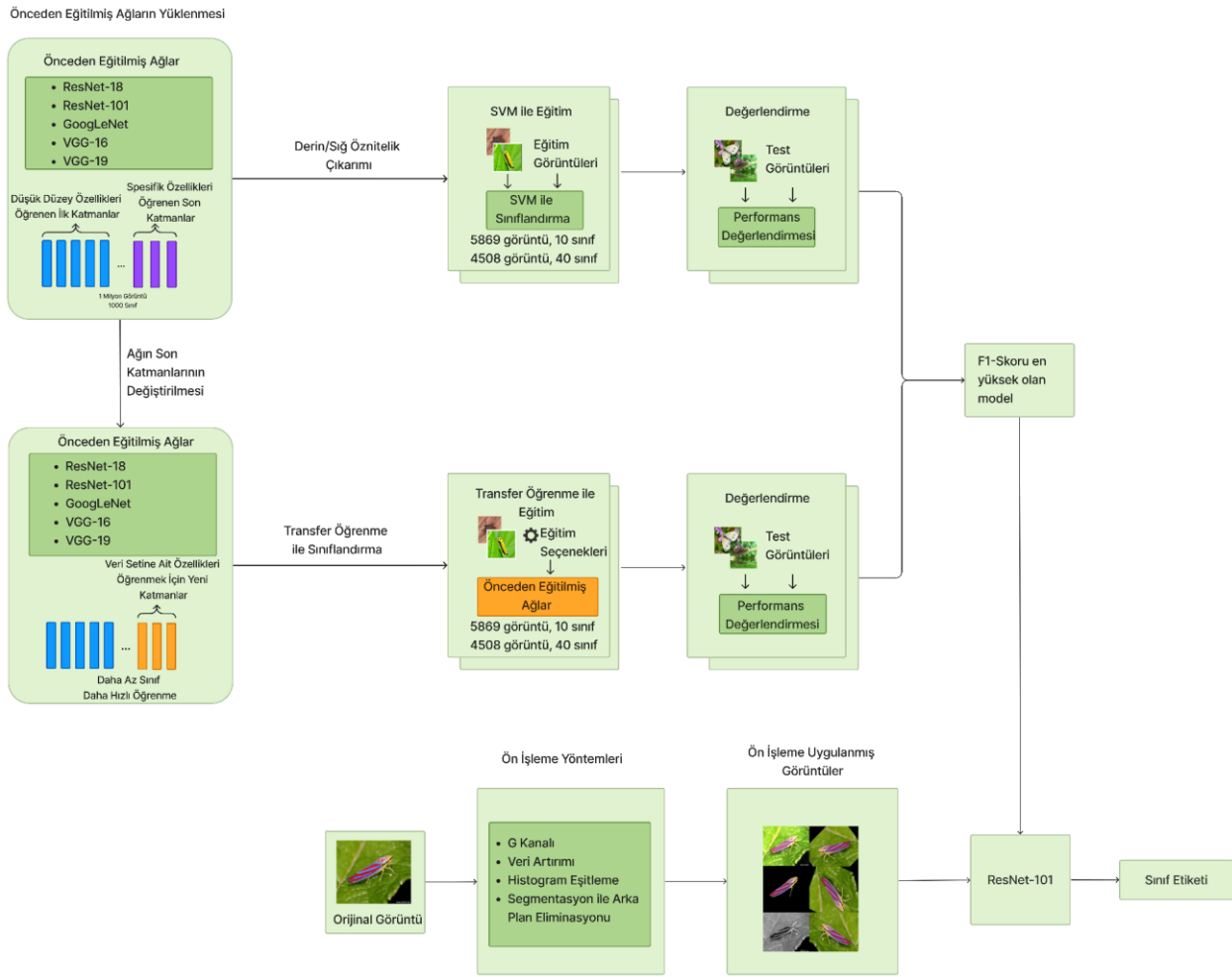
Çalışmada kullanılan önceden eğitilmiş ağlar hakkında detaylı bilgiler Tablo 1'de verilmiştir. Önceden eğitilmiş ağlar yardımıyla transfer öğrenme, segmentasyon, nesne tanıma ve sınıflandırma gibi çok çeşitli uygulama alanı için model geliştirilebilir.

Tablo 1. Önceden Eğitilmiş Derin Sinir Ağları

Önceden Eğitilmiş Ağ	Girdi Görüntüsü Boyutu	Derinlik	Katman Sayısı	Aktivasyon (Öznitelik Sayısı)
ResNet-18	224x224	18	71	512
ResNet-101	224x224	101	347	2048
GoogLeNet	224x224	22	144	1024
VGG-16	224x224	16	41	512
VGG-19	224x224	19	47	512

İkinci yöntemde ise, önceden eğitilmiş derin sinir ağlarının çeşitli katmanlarından elde edilen derin ve sığ özellikler ile SVM sınıflandırıcısı kullanılmaktadır. Önceden eğitilmiş ağların ara katmanlarından çıkarılan sığ özellikler, verinin temel özelliklerini temsil eder. Bu özellikler genellikle düşük seviyeli, basit ve yerel özellikleri içerir. Önceden eğitilmiş ağların son katmanından çıkarılan derin özellikler ise, daha karmaşık ve soyut düzeyde veri özelliklerini temsil eder. Bu özellikler genellikle daha yüksek seviyeli anlam taşırlar. Derin katmanlar, daha önceki katmanların alt düzey özelliklerini kullanarak daha yüksek seviyeli özellikleri oluşturur.

Şekil 4'te önerilen derin öğrenme tabanlı sınıflandırma modellerinin genel çerçevesi verilmiştir.



Şekil 4. Önerilen Modellerin Genel Çerçevesi

3. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

Önerilen modellerin performanslarının değerlendirilebilmesi için kapsamlı deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Tüm deneylerde doğruluk (D), kesinlik (K, ing. precision), hassasiyet (H, ing. recall) ve F1 skoru (F1) gibi standart değerlendirme ölçütleri kullanılmıştır. Bu ölçütler, her modelin sınıflandırma yeteneğini farklı açılardan değerlendirerek güvenilir bir karşılaştırma yapılmasına olanak sağlamaktadır. Deneyler, yüksek performanslı bir Intel(R) Core (TM) i7-7700HQ, 2.80GHz işlemci ve 16 GB RAM'e sahip bilgisayar ortamında gerçekleştirilmiştir. Deneylerde hiper parametrelerin doğru ayarlanması, modelin en iyi sonuçları elde etmesi açısından kritik öneme sahiptir. Hiper parametre ayarları, modelin öğrenme sürecini ve performansını etkileyen önemli faktörlerdir. Çalışmada maksimum adım sayısı 5 ile 30 arasında ayarlanmıştır. Öğrenme oranı ve mini-batch boyutu sırasıyla 0.001 ve 64 olarak ayarlandığında modellerin en iyi sonuçları verdiği görülmüştür. Bu nedenle, kullanılan yaklaşımların etkisini değerlendirmek için yapılan diğer deneylerde parametreler bu değerlerde sabit tutulmuştur.

Deneysel çalışmalar için tarlalarda yaygın bulunan ve mahsul verimini etkileyen bitki zararlılarının görüntülerinden oluşan orijinal 10 sınıflı Li ve 40 sınıflı D0 veri setlerindeki görüntüler, %70 eğitim ve %30 test olmak üzere iki farklı alt gruba ayrılmıştır. Eğitim alt grubu, verilerin öğrenme süreci için ve test alt grubu ise sadece performans ölçümü için kullanılmıştır. Önerilen modellerin performansları, Li veri seti için Tablo 2'de ve D0 veri seti için Tablo 3'te sunulmuştur. Tablolarda, her bir modelin Li ve D0 veri setlerindeki doğruluk, kesinlik, hassasiyet ve F1 skorları yer almaktadır. En yüksek performansa sahip model kalın olarak işaretlenmiştir. Bu tablolar kullanılarak, orijinal görüntülerde en yüksek F1 skora sahip yöntem belirlenmiş, daha sonra farklı görüntü ön işleme yöntemlerinin performanslarının karşılaştırılması için kullanılmıştır.

Tablo 2 incelendiğinde, önerilen modellerin sınıflandırma sonuçlarına göre her bir performans ölçütü için en yüksek performans ResNet-101 ağı ile transfer öğrenme yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. Benzer şekilde, bu veri seti üzerinde kullanılan tüm önceden eğitilmiş ağlar için kullanılan yöntemler karşılaştırıldığında ise transfer öğrenmenin diğer iki yönteme kıyasla daha iyi performans gösterdiği gözlemlenmiştir. Deneylerin ortalama test süreleri transfer öğrenme, derin öznitelikler ile SVM ve sığ öznitelikler ile SVM kullanıldığında sırasıyla 112, 15 ve 3 saniyedir. Tablo 3 incelendiğinde, D0 veri seti üzerinde yapılan deneylerde de Tablo 2'dekine benzer bir sonuç elde edilmiştir. Bu sonuç, ResNet-101 ağının D0 veri setindeki öznitelikleri de diğer ağlardan daha etkili bir şekilde çıkarabildiğini ve genelleme yeteneğinin diğer mimarilere göre daha güçlü olduğunu göstermiştir. Deneylerin ortalama test süreleri transfer öğrenme, derin öznitelikler ile SVM ve sığ öznitelikler ile SVM kullanıldığında sırasıyla 95, 27 ve 5 saniyedir.

Sonuç olarak, Tablo 2 ve Tablo 3, her iki veri setinde de ResNet-101 ağının transfer öğrenme ve SVM ile sınıflandırma sürecinde diğer ağlara kıyasla belirgin olarak daha üstün bir performans sağladığını ortaya koymaktadır. Test süresi karşılaştırması yapıldığında transfer öğrenme yöntemi daha yavaş olmasına rağmen doğruluk açısından daha iyi performans göstermiştir. Bu nedenle, ikinci aşama olan farklı ön işleme yöntemleriyle gerçekleştirilen tüm deneylerde, önceden eğitilmiş ağ olarak ResNet-101 ağı ile transfer öğrenme yönteminin kullanılmasına karar verilmiştir. Bu seçim, modelin genel başarı oranını artırmak ve güçlü bir temel öğrenme yeteneği sağlamak amacı ile yapılmıştır. Ayrıca, aynı yöntemin sabit kalması, daha sonraki deneyler sırasında değişkenlikleri minimize ederek daha güvenilir ve başarılı sonuçlar elde etme olasılığını artırmaktadır.

Derin öğrenme modelleri genellikle kullanılan ağın ne öğrendiğini ve ağa verilen girdinin hangi kısmının çıktı sınıfından sorumlu olduğunu belirtmez. Bunu öğrenebilmek ve kullanılan ağların tahminlerine görsel açıklamalar getirmek için kullanılabilir tekniklerden biri sınıf aktivasyon haritalamadır. Sınıf aktivasyon haritalama, eğitim setindeki ön yargıyı belirlemek ve model doğruluğunu artırmak amacıyla da kullanılmaktadır. Eğer ağın tahminleri yanlış özelliklere dayandığı keşfedilirse, veri seti üzerinde değişiklik yapılarak ağ daha sağlam hale getirilebilir. Şekil 5, orijinal Li ve D0 veri setlerinde, çeşitli sınıflara ait ResNet-101 ağı ile elde edilen sınıf aktivasyon haritalarını göstermektedir. Burada kırmızı bölgeler tahmin edilen sınıfa en çok katkıda bulunan bölgelerdir.

Tablo 2. Önerilen Modellerin Orijinal Li Veri Setindeki Performansları (%) (D/K/H/F1)

Önceden Eğitilmiş Ağ	Transfer Öğrenme	SVM ile Derin Öznitelikler	SVM ile Sığ Öznitelikler
GoogLeNet	94.89/94.82/94.50/94.66	92.78/92.52/92.51/92.51	80.34/79.18/78.52/78.85
ResNet-101	95.91/95.69/95.60/95.65	94.89/94.56/94.66/94.61	94.66/94.42/94.33/94.37
ResNet-18	94.77/94.53/94.36/94.44	91.93/91.79/91.33/91.56	91.36/91.45/90.78/91.11
VGG-16	93.86/93.62/93.46/93.62	91.88/91.52/91.15/91.34	90.68/89.92/90.25/90.08
VGG-19	94.49/94.20/93.99/94.09	92.67/92.28/92.12/92.20	89.43/89.05/88.89/88.97

Tablo 3. Önerilen Modellerin Orijinal D0 Veri Setindeki Performansları (%) (D/K/H/F1)

Önceden Eğitilmiş Ağ	Transfer Öğrenme	SVM ile Derin Öznitelikler	SVM ile Sığ Öznitelikler
GoogLeNet	99.41/99.37/99.36/99.37	98.89/98.95/98.84/98.89	98.89/98.95/98.84/98.89
ResNet-101	99.56/99.57/99.59/99.58	99.41/99.45/99.43/99.43	99.41/99.49/99.33/99.41
ResNet-18	99.33/99.46/99.30/99.38	98.74/98.61/98.57/98.59	98.74/98.61/98.57/98.59
VGG-16	99.26/99.06/99.27/99.16	97.78/98.02/97.62/97.82	98.30/98.32/98.28/98.30
VGG-19	98.96/99.01/98.95/98.98	98.15/98.28/98.12/98.20	98.74/98.70/98.60/98.65



Şekil 5. Kullanılan Veri Setlerine Ait Örnek Görüntülerdeki ResNet-101 Aktivasyon Haritası. (a) Li, (b) D0

Tablo 4. Önerilen Modellerin Farklı Ön İşleme Yöntemleri ile Elde Edilen Performansları (%) (D/K/H/F1)

Ön İşleme Yöntemi	Li Veri Seti	D0 Veri Seti
RGB (Orijinal)	95.91/95.69/95.60/95.65	99.56/99.57/99.59/99.58
G Kanalı Çıkarımı	92.73/92.33/92.33/92.33	98.96/98.80/98.83/98.82
Veri Artırımı	96.36/96.19/95.91/96.06	99.63/99.68/99.67/99.68
Histogram Eşitleme	94.83/94.52/94.30/94.41	99.19/99.26/99.28/99.27
Histogram Eşitleme+Veri Artırımı	95.17/95.01/94.65/94.83	99.26/99.34/99.35/99.34
Segmentasyon ile Arka Plan Eliminasyonu	93.30/93.10/92.86/92.98	98.52/98.61/98.30/98.46
Veri Artırımı+Segmentasyon ile Arka Plan Eliminasyonu	93.58/93.52/92.74/93.13	98.74/98.74/98.52/98.63

Tablo 4'te, seçilen ağın performansını daha da artırmak için kullanılan farklı veri ön işleme yöntemleri ve sonuçları verilmiştir. Bu çalışma, ResNet-101 ağı ile birleştirilen doğru ön işleme yöntemlerinin, haşere sınıflandırma modelinin performansını artırma potansiyelini göstermektedir. Bu aşamada, veri seti öncelikle farklı ön işleme adımlarından geçirilmiş olup bunlar; görüntüden G kanalının çıkarılması, veri artırımı, histogram eşitleme, segmentasyon ile arka plan elimine etme ve kombinasyonları şeklindedir. Ön işleme aşamasında elde edilen görüntüler ResNet-101 ağı ile transfer öğrenme kullanılarak elde edilen modele girdi olarak verilmiştir. Sonrasında model eğitim görüntüleri ile eğitilmiştir. Veri ön işleme adımları, modelin daha etkili bir şekilde öğrenmesine ve genel performansını artırmaya yönelik çeşitli işlemleri içermektedir. Histogram eşitleme kontrastı artırırken, veri artırımı, modelin çeşitli açılardan öğrenme yeteneğini artırarak aşırı uyuma karşı daha dirençli bir yapı oluşturmaktadır.

Sonuçlar incelendiğinde, RGB görüntüler üzerindeki orijinal veri seti kullanıldığında sonuç ile kıyaslandığında, G kanalının yeterli performans gösteremediği görülmektedir. Bu durum, yeşil renk kanal çıkarımının tek başına görüntü verilerini yeterince temsil etmekte yetersiz kaldığını işaret etmektedir. Buradan modelin öznelik çıkarımı ve sınıflandırma yeteneğini sınırladığı sonucuna varılmıştır. Histogram eşitleme orijinal veri setindeki sonuç ile yakın performans göstermiştir. Bu yöntemin renk bilgisi ve öznelik çıkarımı süreçlerinde etkili olduğunu ortaya koymaktadır. Histogram eşitleme, görüntünün kontrastını artırarak daha belirgin özelliklerin ortaya çıkmasına olanak tanır ve daha doğru ve ayrıntılı özneliklerin elde edilmesine katkı sağlar. Arka plan eliminasyonunun orijinal veri setindeki sonuç ile kıyaslandığında daha başarısız olduğu gözlemlenmiştir. Burada kullanılan iki aşamalı yaklaşımda, öncelikle U-net kullanılarak bitki zararlıları arka plandan ayrılmış, ilk aşama olan segmentasyon aşamasından elde edilen zararlı görüntüleri kullanılarak sınıflandırma aşamasına geçilmiştir. Bu yaklaşımın performansı, zararlı segmentasyonunun doğruluğuna ve modelin bu segmente edilmiş verilerden öğrenme yeteneğine bağlıdır. Arka plan eliminasyonunda kullanılan segmentasyon yönteminin görüntüyü maskeleyerek zararlı ve arka planın benzer olması sebebiyle yanıltıcı maskelemeler yaptığı görülmüştür. Ayrıca bazı zararlı türlerinin sınıflandırılmasında arka plan bilgisinin önemli olabileceği değerlendirilmiştir. Örneğin belirli zararlı türlerinin sadece belirli bitki türlerinde bulunması ve bu bitkilerin varlığı zararlıların sınıflandırılmasında yardımcı olabilir. Arka planı tamamen kaldırmak, bu tür bir bilgi kaybına yol açarak sınıflandırma performansını olumsuz etkileyebilmektedir. Veri artırımı ile veri setleri çeşitli yansıtma, döndürme yöntemleri ile üç kat artırılmıştır ve modelin performansı üzerinde olumlu olarak belirgin bir etkisi olduğu gözlemlenmiştir. RGB görüntü üzerinde uygulanan veri artırımının her iki veri setinde de en yüksek başarı sonuçlarını elde etmede etkili olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak, bu çalışma, ResNet-101 ağıyla birleştirilen belirli ön işleme yöntemlerinin, özellikle RGB görüntü üzerinde uygulanan veri artırımının, bitki zararlısı sınıflandırma modelinin performansını artırmada önemli bir rol oynayabileceğini göstermiştir. Bu sonuçlar, bitki

zararlılarının etkili bir şekilde sınıflandırılması için uygun ön işleme stratejilerinin seçilmesinin önemini vurgulamıştır.

4. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Bitkilerin korunması için, bitki zararlılarının doğru bir şekilde tanınması oldukça önemlidir. Bunların erken tespiti, tarım ekonomisindeki kayıpların azaltılmasına yardımcı olmaktadır. Son zamanlarda derin öğrenme tabanlı yöntemler, hızlı ve doğru bir bitki zararlısı sınıflandırıcısı geliştirmenin en etkili yollarından biri haline gelmiştir. Bu yaklaşım, büyük veri setlerini işleyebilme yeteneği ve karmaşık öznitelikleri otomatik olarak çıkarma kabiliyeti sayesinde, çeşitli bitki zararlılarını doğru bir şekilde tanımlamak için güçlü bir araç sunmaktadır.

Bu çalışmada bitki zararlılarının tespiti ve sınıflandırılması için, ilk yöntem olarak önceden eğitilmiş ağlar ile transfer öğreniminden yararlanılmıştır. İkinci yöntem olarak bu ağlardan çıkarılan hem derin hem de sığ öznitelikler kullanılarak SVM sınıflandırıcısı ile sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca farklı ön işleme yöntemlerinin, önceden eğitilmiş derin sinir ağlarının özniteliklerini kullanarak transfer öğrenme ile sınıflandırma performansını nasıl etkilediği araştırılmıştır. Model için en uygun özniteliklerin seçilmesi ve veri setinden kaynaklanan zorlukların giderilmesi ile her iki veri setinin de kalitesi artırılmıştır. Çalışmada histogram eşitleme, veri artırımı ve görüntünün G renk kanalı çıkarım ve U-Net mimarisi kullanılarak segmentasyon ile arka plani elimine etme gibi ön işleme tekniklerinin bitki zararlısı tespit ve sınıflandırma performansına olan etkisi ölçülmüştür.

Tablo 5. Önerilen Çalışmanın Literatürde Yer Alan Benzer Çalışmalar ile Karşılaştırması

Referans	Veri seti (#Sınıf, #Görüntü)	Ön İşleme Yöntemi	Model	Performans (%)	İşlem süresi (sn)
(Xia vd., 2018)	Xie1 (24,1440)	Veri artırımı	VGG-19	mAP: 89.22	Eğitim: 40320
(Thenmozhi ve Reddy, 2019)	D0 (40, 4508) Xie1 (24,1440) NBAIR (40)	Veri artırımı	CNN	D: 95.97 D: 97.47 D: 96.75	- - -
(Li vd., 2020)	Li (10, 5869)	Veri artırımı Arka plan temizleme	GoogLeNet	D: 96.67	-
(Nanni vd., 2020)	IP102 (102, 75222) Deng (10,563)	Veri artırımı	CNN Belirginlik yöntemi	D: 61.93 D: 92.43 D: 96.78	- - -
(Yang vd., 2021a)	Li (10, 5869) IP102 (102, 75222) Özel Veri Seti (58, 7344)	Veri artırımı Derin öznitelikler Kendi oluşturdukları öznitelikler Veri artırımı	STN (Spatial Transformer Networks) ResNet-50	D: 73.29 D: 96.50	Test: 165 -
(Yang vd., 2021b)	Özel Veri Seti	Renk uzayı analizi	Karar ağaçları Topluluk öğrenme	D: 95.73 F1:93.56	-
(Chen vd., 2023)	PlantVillage (2, 2475)	Renk modeli dönüşümü	CNN	K: 63.26, H: 72.44	-
(Wang vd., 2023)	IP102 (102, 75222) D0 (40, 4508) Insect (9, 2251)	Veri artırımı	ConvNeXt ve SwinTransformer	D: 71.60, H: 71.20, F1: 71.40 D: 98.50, H: 98.20, F1: 98.40 D: 93.10, H: 92.90 F1: 93.00	- - -
Önerilen Model	Li (10, 5869) D0(40, 4508)	Veri artırımı	ResNet-101 ile Transfer öğrenme	D: 96.36, K: 96.19, H: 95.91, F1: 96.06 D: 99.63, K: 99.68, H:99.67, F1: 99.68	Test: 220.70 Test: 164.39

Önerilen modellerin performansları, bitki görüntülerindeki zararlıların tanınması alanında literatürde yer alan önceki çalışmalarla karşılaştırılarak kapsamlı bir şekilde analiz edilmiştir. Literatürde farklı bitki zararlısı türleri ve sayıları ile tespiti, sınıflandırması ve segmentasyonu olmak üzere çeşitli uygulama alanlarında çeşitli yöntemler ile bitki görüntülerinden oluşan farklı veri setlerine odaklanan birçok sayıda çalışma bulunmaktadır. Önerilen modellerin iki veri setinde de elde ettiği en yüksek performans, diğer çalışmaların sonuçlarıyla birlikte Tablo 5' te

sunulmuştur. Bu karşılaştırma sürecinde, çalışmalardaki sınıf ve görüntü sayıları, kullanılan veri setleri, sınıflandırma yöntemleri ve sınıflandırma doğruluğu, kesinlik, hassasiyet ve F1 skoru gibi performans ölçütleri gibi çeşitli faktörler dikkate alınmıştır. Önerilen modeller, önceki çalışmalarla karşılaştırıldığında sınıflandırma doğruluğu ve diğer performans metrikleri açısından benzer veya daha üstün bir performans sergilemiştir. Bu sonuçlar, önerilen modellerin bitki zararlısı sınıflandırma konusunda etkili bir çözüm sunduğunu göstermektedir. Ayrıca, bu çalışmada literatürdeki çoğu çalışmadan farklı olarak deneylerin işlem süreleri de verilmiştir.

Gelecek çalışmalarda, bitki zararlılarının tespiti ve sınıflandırılması için daha geniş sınıf sayısına sahip çeşitli veri setleri kullanılarak modelin genelleme kabiliyetinin artırılması hedeflenmektedir. Yeni nesil derin öğrenme mimarileri ve gelişmiş transfer öğrenme teknikleri ile performans iyileştirmelerinin yapılması planlanmaktadır.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

Kaynaklar (References)

- Chen, W., Gao, H., Ding, D., Dong, X., Luo, X., 2023. Chili Pepper Pests Recognition Based on Hsv Color Space and Convolutional Neural Networks. In 2023 IEEE 3rd International Conference on Electronic Technology, Communication and Information (ICETCI), pp. 241-245.
- Deng, L., Wang, Y., Han, Z., & Yu, R., 2018. Research on Insect Pest Image Detection and Recognition Based on Bio-Inspired Methods. *Biosystems Engineering*, 169, 139-148.
- He, K., Zhang, X., Ren, S., Sun, J., 2016. Deep Residual Learning for Image Recognition. In Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 770-778.
- Li, Y., Wang, H., Dang, L. M., Sadeghi-Niaraki, A., Moon, H., 2020. Crop Pest Recognition in Natural Scenes Using Convolutional Neural Networks. *Computers and Electronics in Agriculture*, 169.
- Maharana, K., Mondal, S., Nemade, B., 2022. A review: Data Pre-Processing and Data Augmentation Techniques. *Global Transitions Proceedings*, 3(1), 91-99.
- Nanni, L., Maguolo, G., Pancino, F., 2020. Insect Pest Image Detection and Recognition Based on Bio-Inspired Methods. *Ecological Informatics*, 57, 101089.
- Qin, X., Zhang, Z., Huang, C., Dehghan, M., Zaiane, O. R., & Jagersand, M., 2020. U2-Net: Going Deeper with Nested U-structure for Salient Object Detection. *Pattern Recognition*, 106, 107404.
- Shorten, C., & Khoshgoftaar, T. M., 2019. A Survey on Image Data Augmentation for Deep Learning. *Journal of Big Data*, 6(1), 1-48.
- Simonyan, K., Zisserman, A., 2014. Very Deep Convolutional Networks for Large-Scale Image Recognition, arXiv preprint arXiv:1409.1556.
- Szegedy, C., Liu, W., Jia, Y., Sermanet, P., Reed, S., Anguelov, D., Rabinovich, A., 2015. Going Deeper with Convolutions. In Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 1-9.
- Thenmozhi, K., Reddy, U. S., 2019. Crop Pest Classification Based on Deep Convolutional Neural Network and Transfer Learning. *Computers and Electronics in Agriculture*, 164, 104906.
- Toscano-Miranda, R., Aguilar, J., Hoyos, W., Caro, M., Trebilcok, A., & Toro, M., 2024. Different Transfer Learning Approaches for Insect Pest Classification in Cotton. *Applied Soft Computing*, 153, 111283.
- Wang, C., Zhang, J., He, J., Luo, W., Yuan, X., Gu, L., 2023. A Two-Stream Network with Complementary Feature Fusion for Pest Image Classification. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 124, 106563.
- Wu, X., Zhan, C., Lai, Y. K., Cheng, M. M., & Yang, J., 2019. Ip102: A Large-Scale Benchmark Dataset for Insect Pest Recognition. In Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (pp. 8787-8796).
- Xia, D., Chen, P., Wang, B., Zhang, J., Xie, C., 2018. Insect Detection and Classification Based on an Improved Convolutional Neural Network. *Sensors*, 18(12).
- Xiao, B., Ma, J. F., Cui, J. T., 2012. Combined Blur, Translation, Scale and Rotation Invariant Image Recognition by Radon and Pseudo-Fourier-Mellin Transforms. *Pattern Recognition*, 45(1), 314-321.
- Xie, C., Zhang, J., Li, R., Li, J., Hong, P., Xia, J., Chen, P., 2015. Automatic Classification for Field Crop Insects via Multiple-Task Sparse Representation and Multiple-Kernel Learning. *Computers and Electronics in Agriculture*, 119, 123-132.
- Xie, C., Wang, R., Zhang, J., Chen, P., Dong, W., Li, R., Chen, H., 2018. Multi-Level Learning Features for Automatic Classification of Field Crop Pests. *Computers and Electronics in Agriculture*, 152, 233-241.
- Yang, X., Luo, Y., Li, M., Yang, Z., Sun, C., Li, W., 2021a. Recognizing Pests in Field-Based Images by Combining Spatial and Channel Attention Mechanism. *IEEE Access*, 9, 162448-162458.
- Yang, Z., Li, W., Li, M., Yang, X., 2021b. Automatic Greenhouse Pest Recognition Based on Multiple Color Space Features. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 14(2), 188-195.