

ISVOS JOURNAL

INTERNATIONAL



**SCIENTIFIC
AND
VOCATIONAL
STUDIES
JOURNAL**

TOPICS

**Engineering
Science
Maths
Health**

ISSN: 2618-5938

LIST OF EDITORS

EDITOR-IN-CHIEF

Umut Saray / Tokat Gaziosmanpaşa University

Tolga Yücehan / Afyon Kocatepe University

ASSOCIATE EDITORS

Abdil Karakan / Afyon Kocatepe University

Munise Didem Demirbaş / Erciyes University

MEMBER OF EDITORS

Ph.D. Cem Cüneyt Ersanlı	ORCID: 0000-0002-8113-5091	Sinop University
Ph.D. Uğur Çavdar	ORCID: 0000-0002-3434-6670	İzmir Demokrasi University
Ph.D. Tolga Yücehan	ORCID: 0000-0002-8835-0907	Afyon Kocatepe University
Ph.D. Umut Saray	ORCID: 0000-0003-3339-6876	Tokat Gaziosmanpaşa University
Ph.D. Munise Didem Demirbaş	ORCID: 0000-0001-8043-6813	Erciyes University
Ph.D. Özgür Alparslan	ORCID: 0000-0002-2264-2886	Tokat Gaziosmanpaşa University
Ph.D. Elif Tezel Ersanlı	ORCID: 0000-0003-0608-9344	Sinop University
Ph.D. Pınar Çavdar	ORCID: 0000-0002-1989-4759	İzmir Demokrasi University
Ph.D. Özlem Toprak	ORCID: 0000-0002-6910-011X	Tokat Gaziosmanpaşa University
Ph.D. Özlem Afacan	ORCID: 0000-0001-6067-2456	Kırşehir Ahi Evran University
Ph.D. Fatih Polat	ORCID: 0000-0002-8758-8040	Tokat Gaziosmanpaşa University
Ph.D. Neslihan Özbek	ORCID: 0000-0001-7106-4763	Ahi Evran University
Ph.D. Ahmet Saygılı	ORCID: 0000-0001-8625-4842	Namık Kemal University
Ph.D. Bilal Şenol	ORCID: 0000-0002-3734-8807	İnönü University
Ph.D. Mevlida Operta	ORCID: 0000-0002-3028-2294	University of Sarajevo
Ph.D. Recep Ekici	ORCID: 0000-0002-4420-8431	Erciyes University
Ph.D. Yeliz Durgun	ORCID: 0000-0003-3834-5533	Tokat Gaziosmanpaşa University

Ph.D. Canan Başlak	ORCID: 0000-0003-1444-1272	Selçuk University
Ph.D. Cem Emeksiz	ORCID: 0000-0002-4817-9607	Tokat Gaziosmanpaşa University
Ph.D. Sefa Ersan Kaya	ORCID: 0000-0003-1754-3901	Tokat Gaziosmanpaşa University
Ph.D. Ahmet Tolunay	ORCID: 0000-0001-9028-9343	Isparta University of Applied Sciences
Ph.D. Altuğ Çağatay	ORCID: 0000-0001-7067-5570	Tokat Gaziosmanpaşa University
Ph.D. Abdullah Elen	ORCID: 0009-0009-1399-7704	Bandırma Onyedi Eylül University
Ph.D. Oktay Erdoğan	ORCID: 0000-0003-1466-3035	Pamukkale University
Ph.D. Ali Çiftçi	ORCID:0000-0001-8217-575X	University of Health Sciences
Ph.D. Arzu Ay	ORCID:0000-0002-8412-091X	Trakya University
Ph.D. Mohammad Ali Ghorbani	ORCID:0000-0002-0333-2559	University of Tabriz
Ph.D. Waggas Galib Atshan	ORCID: 0000-0002-7033-8993	University of Al-Qadisiyah
Ph.D. Rasoul Daneshfaraz	ORCID: 0000-0003-1012-8342	University of Maragheh
Ph.D. Ayhan Erciyes	ORCID: 0000-0002-0942-5182	Aksaray University
Ph.D. Feyza Gürbüz	ORCID: 0000-0002-6327-8232	Erciyes University
Ph.D. Serdar Özyön	ORCID: 0000-0002-4469-3908	Kütahya Dumlupınar University
Ph.D. Arzu Erçetin	ORCID: 0000-0002-8381-0011	İstanbul Kültür University
Ph.D. Güllü Kırat	ORCID:0000-0002-1167-0574	Yozgat Bozok University
Ph.D. Nil Doğruer Ünal	ORCID:0000-0002-4083-0944	Mersin University
Ph.D. Gökçe Şeker Karatoprak	ORCID: 0000-0001-5829-6914	Erciyes University
Ph.D. Mürşide Dartay	ORCID:0000-0001-8875-8702	Fırat University
Ph.D. Mahdi Hosseini	ORCID: 0000-0003-0850-496X	Nanjing Forestry University
Ph.D. Abdil Karakan	ORCID: 0000-0003-1651-7568	Afyon Kocatepe University
Ph.D. Çiğdem Gündoğan Türker	ORCID: 0000-0002-9003-0902	Festo Technology Center

INDEXES

The International Scientific and Vocational Studies (ISVOS) Journal is listed in the indexes given below.



Index Copernicus



Google Scholar



Worldcat

ResearchBib



Türkiye Atıf Dizini



JournalTOCs



ASOS INDEX



Global Scholar Index



Eurasian Scientific Journal Index



Crossref



The Open Ukrainian Citation Index (OUCI)



Paperity



ACARINDEX



German Union Catalogue of Serials (ZDB)



ISSN PORTAL



The Mathematics Information Service (fidmath)



Scilit



ROAD

CONTENTS

List of Editors	i
Indexes	iii
Contents	iv
Modeling the Behavior of <i>Chlorella Vulgaris</i> Microalgae in Water Treatment: A Kinetic Approach	1
Determining Which Date Is The Day Of The Week.....	9
Monte Carlo Increased-Radius Floating Random Walk Solution For Potential Problems	13
Comparative Analysis of Diabetes Diagnosis with Machine Learning Methods	22
A Research on Determining the Importance Levels of Criteria Effective in Forest Road Network Planning through GIS-Based Methods	33
Sustainable Grids: Smart Meter Solutions for Efficient Energy Measurement.....	49
Advanced Web-Based Customer Taxi Appointment Request System	65
A Web-Based Advanced Law Firm Tracking System Application For Lawyers	76
Performing Distance Measurements Of Fixed Objects Detected With Yolo Using Web Camera.....	87
Evaluation of Smart City Determinants By The Fuzzy DEMATEL Method.....	94
Facial Tracking, Recognition, and Utilizing Gaussian Blur In Face Recognition Sytems Via The OpenCv Library	103
Deep Learning Approaches for Retinal Image Classification: A Comparative Study of GoogLeNet and ResNet Architectures	123
Structure Elucidation of Schiff Base-Containing Compound by Quantum Chemical Methods	129
Investigating Transient Responses of IEEE 6 Bus Power System to Various Fault Types using PowerWorld Simulator	137
Investigation of the Enrichment Coefficient for Cu, Fe, Mn and Ni Elements in <i>Prunus armeniaca</i> L. Plant, Hekimhan – Hasançelebi (Malatya).....	152
Quantum Mechanical Calculations and Molecular Docking Simulation Studies of <i>N</i> -(5-chloro-2-oxobenzyl)-2-hydroxy-5-methylanilinium Compound	162
Evaluation of Online Food Ordering Service Platforms Using MCDM Methods.....	178
Eccentricity Fault in Induction Motors Using Statistical Process Control Method.....	192

The Importance and Economic Advantages of Using National Open Source Software in Public Institutions202

A Comparison of Open-Source Learning Management Systems Used for Distance Education in Higher Education Institutions211

Effects of Consolidation Parameters on Flexural Behavior of Polypropylene/Glass Fiber Thermoplastic Composites223

Changes in Traffic Density and Vehicle Usage Habits During and After the Pandemic in Balıkesir Province235

Modeling the Behavior of *Chlorella Vulgaris* Microalgae in Water Treatment: A Kinetic Approach

Burcu Şimşek Uygun ^a, Serdar Göncü ^b, Esin Huriye Buğdaycı ^{c,1}

^a Eskisehir Technical University, Environmental Engineering, Eskişehir, Türkiye
ORCID ID: 0000-0003-1211-4198

^b Eskisehir Technical University, Environmental Engineering, Eskişehir, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-6296-3297

^c Eskisehir Technical University, Environmental Engineering, Eskişehir, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-6145-6701

Abstract

In the modern era, there has been a notable surge in environmental pollution attributable to agricultural activities, urban expansion, industrialization, and various other contributing factors. This alarming trend has also taken a toll on our water resources, exacerbated further by the contamination stemming from human consumption-related wastewater discharges. To address these concerns, biological treatment approaches have gained widespread acceptance for wastewater treatment. The utilization of microalgae as a nutrient source, facilitating the removal of organic matter from wastewater, holds a pivotal role in bolstering the sustainability of wastewater treatment. The aim of this study, to mathematically model the removal of phosphorus and nitrogen from domestic wastewater using *Chlorella Vulgaris* algal culture. Experimental studies were conducted in a batch reactor, and removal efficiencies of nitrate nitrogen, ammonium nitrogen, and phosphate phosphorus were examined through measurements. The results indicate that microalgae efficiently perform the removal of pollutants process. As well as usage of microalgae in water treatment processes, a good microalgae kinetic model is highly important for nutrient removal, microalgae biomass accumulation, and enhancing operational settings in wastewater treatment. Kinetic modeling is a mathematical approach used to understand how a chemical reaction or process progresses or changes over time. Such models have various applications in all fields of science. Kinetic modeling can help us predict and optimize the behavior of reactions using computer simulations and mathematical analysis. Furthermore, specific growth rates of microalgae according to nitrogen and phosphorus nutrients were compared using the Michaelis-Menten equation for growth kinetics. According to the calculations, the nitrogen-based specific growth rate (NO_3^- -N, NH_4^+ -N) was determined as $\mu_{\text{max}}=0.053$ day⁻¹, and the phosphorus-based (PO_4^{3-}) specific growth rate was determined as $\mu_{\text{max}}=0.061$ day⁻¹.

Keywords: “Kinetic modeling, microalgae, *Chlorella Vulgaris*, specific growth rate.”

1. Introduction

Water plays a vital role as an essential resource, serving as a primary raw material in various industries, including pharmaceuticals, food and agriculture, petrochemicals, pesticides, and oil and gas, in addition to its household uses. The improper disposal of polluted water resulting from these industrial processes sustains significant environmental risks, which have become a growing cause for concern due to the wide array of pollutants involved. The excess release of phosphorus (P) and nitrogen (N) into aquatic ecosystems, resulting in eutrophication, raises environmental alarms due to issues such as solid waste production and the release of noxious substances into the atmosphere. This phenomenon also encourages the proliferation of harmful microorganisms, posing threats to aquatic ecosystems and degrading drinking water quality. This contributes to the widespread health issues observed in regions located close to the discharge areas [1].

Excessive use of fertilizers and pesticides in urban and agricultural areas leads to serious nitrate and phosphate pollution in surface and groundwater. Discharge of domestic wastewater, sewage, animal farms, processed food factories, and decomposition of organic matter release nitrogen into water environments. Therefore, studies related to nitrogen and phosphorus pollution and their treatment are of great importance [2].

As a result of the constrained capabilities of wastewater treatment facilities (WWTPs) in eliminating pollutants from wastewater, the discharged effluent, once treated, frequently retains minimal traces of contaminants. Despite the relatively low concentrations of some pollutants such as pharmaceuticals, endocrine disruptors (EDCs), microplastics (MPs), and persistent

¹ Corresponding Author
E-mail Address: esinbgdyc@gmail.com

organic pollutants (POPs), they wield a substantial impact on the metabolism, development, and reproductive processes of organisms within the surrounding environment. Microalgae offer a sustainable solution for tertiary and quaternary treatment processes due to their capacity to metabolize complex contaminants [3].

In situations where water is contaminated and purification becomes imperative, the selection of the optimal treatment approach is crucial to attain the desired purification goals. Traditional secondary treatments (such as activated sludge) and tertiary treatments (including processes like filtration and disinfection) often prove to be ineffective in adequately removing a majority of the emerging contaminants (ECs) that enter the wastewater treatment plant [1, 4].

Wastewater treatment using organisms such as bacteria, fungi, protozoa, and microalgae, which are capable of metabolizing parameters such as nitrogen, phosphorus, and carbon, has been extensively researched and studied. Numerous microalgae species, including “*Scenedesmus*, *Chlorella*, *Euglena*, *Oscillatoria*, *Chlamydomonas*, and *Ankistrodesmus*”, have demonstrated efficient growth in wastewater (WW) [1]. Among these organisms, microalgae have gained significant attention in wastewater treatment in recent years due to their fast growth rate and ability to thrive in challenging conditions [5].

Many researchers have proposed the use of microalgae as an innovative biological treatment method for nutrient removal in wastewater. Microalgae are also applicable in the tertiary treatment of wastewater due to their ability to absorb nutrients. Numerous studies have shown variations in the efficiency of nitrogen and phosphorus removal when using microalgae. These differences can be attributed to factors like the initial nutrient concentrations, which are influenced by various environmental conditions. Environmental factors, such as ambient conditions, light intensity, the nitrogen-to-phosphorus ratio, light and dark cycles, and the specific characteristics of the algal species, all play a crucial role in determining the effectiveness of nutrient removal through microalgae-based treatment processes [6].

Nitrogen and phosphorus in wastewater occurs in the tertiary treatment stage. The most common methods are biological processes such as anaerobic digestion and nitrification - denitrification. However, these methods are costly because they require multiple tanks and recycling of activated sludge. It is complex and wastes energy.

Efficiencies as high as 80-100% in nitrogen and phosphorus removal from wastewater have been reported for microalgae from different sources. Using microalgae to remove nutrients; it has various advantages, such as the nitrogen and phosphorus taken up by microalgae can be recycled through the production of fertilizer from microalgae biomass, or the resulting biomass can be used in the production of bioenergy, food, animal feed and medicine.

In the use of microalgae in wastewater treatment, the composition of the wastewater to be treated should be evaluated in advance. Because nitrogen/phosphorus molar ratios (N:P) seriously affect microalgae production and therefore nutrient uptake. Based on elemental composition for microalgal biomass, when the N:P ratios fall below 5:1, it results in nitrogen limitation, whereas N:P molar ratios exceeding 30:1 lead to phosphorus limitation [7].

In a study conducted by Şebnem A. and İlgi K. K., the effect of ammonia nitrogen and phosphorus concentration on the removal from wastewater by the algal species *C. vulgaris* was investigated, and kinetic coefficients were determined [8]. Experimental results showed that *C. Vulgaris* was able to completely remove ammonia nitrogen and achieve 78% efficiency in phosphate phosphorus removal. The discontinuous kinetic coefficients for the removal of ammonia nitrogen by *C. Vulgaris* were determined as $k = 1.5 \text{ mg NH}_4\text{-N mg}^{-1} \text{ chl-a d}^{-1}$ and $K_m = 31.5 \text{ mg/L}$. Similarly, for the removal of $\text{PO}_4\text{-P}$, the kinetic coefficients were found to be $k = 0.5 \text{ mg PO}_4\text{-P mg}^{-1} \text{ chl-a d}^{-1}$ and $K_m = 10.5 \text{ mg/L}$. Therefore, the removal rate of ammonia nitrogen is higher than that of phosphorus [8].

The binding mechanism of ions by algal biomass can vary depending on factors such as the type of algal species, the ionic charges involved, external environmental conditions like pH, ion concentration, biomass dosage, and temperature.

In a research study conducted by Melihe Amini et al., the capacity of unicellular green microalgae *D. salina* to uptake and remove NO_3^- and PO_4^{3-} from wastewater was investigated. The study examined several factors in batch systems, including the pH of the solution, the amount of microalgae biomass (0.05 g/L), and the initial concentrations of nitrate and phosphate (350 mg/L). FTIR experiments were conducted to understand how ions are absorbed by the algae. The most effective conditions for nitrate and phosphate adsorption and removal were found to be at pH 7, with 0.05 g/L of algae, and initial nitrate and phosphate concentrations of 350 mg/L. Under these conditions, *D. salina* exhibited a nitrate uptake capacity of 332 mg/g with a removal efficiency of 54%. Additionally, it demonstrated a phosphate uptake capacity of 544 mg/g with a removal efficiency of 82% [9].

A good microalgae kinetic model holds significant importance not only for the treatment processes involving microalgae but also for achieving nutrient removal, promoting biomass growth, and optimizing operating conditions in wastewater treatment. The kinetic modeling of *C. Vulgaris* microalgae can help optimize water treatment processes. This modeling can be used to evaluate factors such as nutrient input, growth rate of microalgae, biomass production, and efficiency of nutrient removal. Additionally, through this modeling, different scenarios can be simulated to examine the impact of various operating conditions and achieve the best performance.

Kinetic modeling involves some different mathematical equations that define the growth rate and nutrient taken of microalgae. These equations vary depending on factors such as nutrient concentration, temperature, pH, and some operational parameters. Understanding how *C. Vulgaris* microalgae behaves in water treatment, these equations are developed using laboratory experiments and data.

The Runge-Kutta method used in numerical analysis can be defined as an important type of open and closed iterative methods for solution approaches of ordinary differential equations. In a study conducted by Fatih Cantas and his colleagues, the Runge Kutta algorithm was applied to fixed-size multimodal test functions, and a solution was sought to find the minimum point of the functions with different parameter values [10]. It is thought that this method can be used in cases where there are too many parameters in algae modeling.

The Monod (1) and Droop (2) models are frequently utilized mathematical models for studying microalgae growth. These models are employed to analyze the specific growth rates of microalgae. In Monod-type kinetics, the maximum specific growth rate is determined by the nutrient limitation, whereas in the Droop model, “the maximum specific growth rate” represents the growth rate of microalgae with an unlimited internal nutrient content [11].

The numbers of microalgae has typically four phases over time; lag phase, exponential growth phase, stationary phase, death phase. The following mass balance represents for modeling microalgae;

$$\frac{dX}{dt} = (k_g - k_d)X \quad (1)$$

X is bacterial concentration, k_g is bacterial growth rate and k_d is bacterial death rate. k_g can be taken as μ .

The relationship between growth rate and concentration of substrate can be determined following empirical model;

$$\mu = \mu_{max} \frac{S}{K_s + S} \quad (2)$$

μ_{max} is maximum growth rate when food is abundant, S is substrate concentration (mg/L) and K_s is a half-saturation concentration. This model is sometimes called Michaelis-Menten model and also referred as Monod model [12].

$$\mu = \mu_{max} \frac{[A]}{K_A + [A]} \quad (3)$$

$$\mu_D = \mu_{D,max} * \left(1 - \frac{Q_0}{q}\right) \quad (4)$$

Monod and Droop models are often associated with equation 5.

$$\mu_{D,max} = \frac{\mu_m P_m}{P_m - \mu_m Q_0} \quad (5)$$

μ_m is Monod specific growth; μ_D is represented as Droop specific growth rate; $\mu_{m,D}$ is indicated as Droop maximum specific growth rate; [A] is denoted concentration of the nutrient A (mg/L); Q_0 is minimum cell quota; q is cell quota; ρ_m is represented as maximum nutrient uptake rate per cell [11].

While studies have indicated that the Droop model can faithfully replicate microalgae growth dynamics, researchers tend to favor the Monod model because of its simplicity in assessing the external nutrient concentration within the culture medium. While the Droop model takes into account the internal nutrient concentration, the Monod model is preferred due to its simplicity and ease of application in experimental studies, where the relationship between substrate concentration and the specific growth rate of microalgae is straightforward. However, in specific studies where the internal nutrient concentration is significant and can better explain growth dynamics, the Droop model is employed. There are also different models about growth rates [11].

The forthcoming global water scarcity issue is poised to become one of the most significant social and economic challenges of the 21st century. Microalgae-based wastewater treatment holds the potential to address this challenge by not only recovering nutrients but also generating clean water. Microalgae play a crucial role in the management and treatment of various types of wastewater, including industrial, agricultural, and municipal. These robust microalgae strains are adept at thriving in the harsh conditions presented by contemporary industrial and municipal waste environments [13].

The primary objective of this research was to create a kinetic model for the purification of contaminants from domestic wastewater, utilizing a culture of *C. Vulgaris* algae. Experimental data for this modeling were collected within a controlled

laboratory setting, employing a batch reactor. To understand the growth kinetics of the microalgae, the specific growth rates based on nitrogen and phosphorus were evaluated and compared. The Monod equation was utilized as an analytical tool for this comparative analysis.

2. Material and Method

The primary objective of this research is to assess the effectiveness of *C. Vulgaris* algae culture in biological water treatment. Additionally, this study aims to quantify the specific growth rates concerning nitrogen and phosphorus nutrients.

The water sample used in this study was collected from the discharge point of the Eskişehir Municipal Wastewater Treatment Plant, where it is released into the Porsuk Stream. Fig. 1 illustrates the precise location of the sampling site.

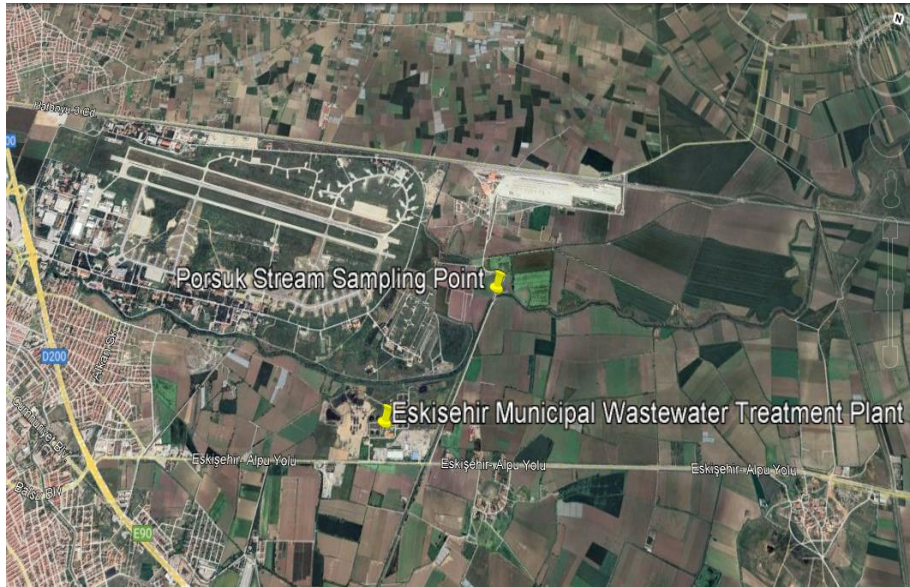


Fig. 1. Sampling location at Porsuk Stream

The experiment was set up using a batch reactor equipped with an Imhoff cone. Air was introduced into the system through a diffuser located at the lower part of the funnel. To provide illumination, a blue-red LED light source was utilized. A parabolic reflective surface covered with aluminum foil was placed around the cone to enhance the efficiency of the light source. In addition to monitoring NO_3^- -N, NH_4^+ -N, PO_4^{3-} , pH, and temperature values, chlorophyll-a measurements were conducted to observe the growth stages of the algae. pH adjustment during the experimental studies was carried out manually.

The experiments for NO_3^- -N, NH_4^+ -N, and PO_4^{3-} were conducted using the Hach DR2400 VIS spectrophotometer. Chlorophyll-a measurements, on the other hand, were performed using the Turner Design Aqua Fluor Fluorometer/Turbidimeter device to obtain in vivo Chl-a values [14].

After these experiments, calculations about kinetic modeling has been done. The microalgae growth kinetic model used the Monod model to account for nutrient limitations. Components of microalgae growth kinetic model include nitrogen types as NO_3^- -N and NH_4^+ -N and phosphorus type as PO_4^{3-} .

3. Results and Discussion

Phosphate, Chl_a and total ammonium nitrogen-nitrate nitrogen concentrations in experiments with *C.Vulgaris* in wastewater are shown in the graphs below (Fig. 2).

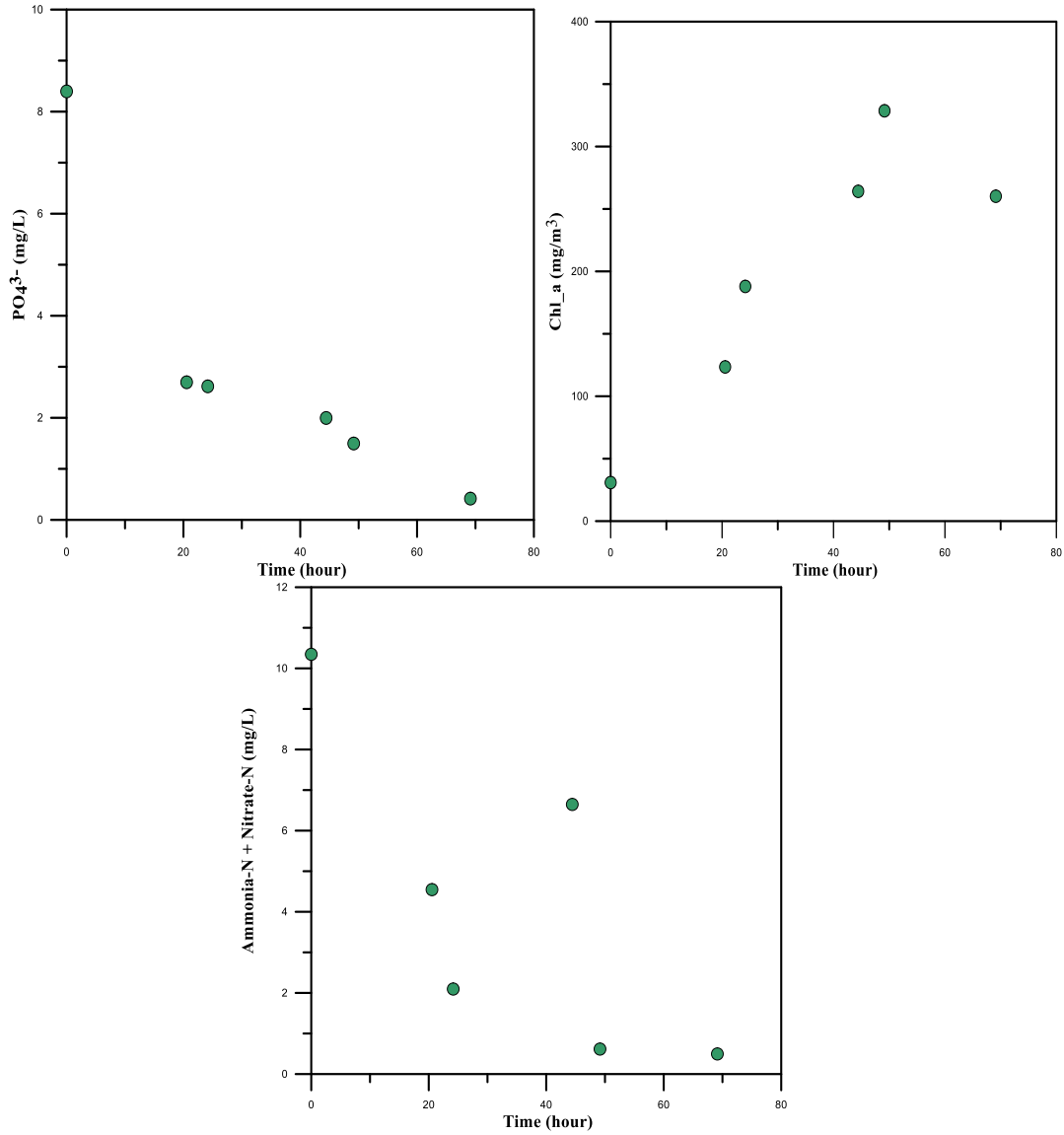


Fig. 2. PO₄³⁻, Chl-a, total NO₃⁻ N and NH₄⁺N concentration changes in Porsuk Stream samples

Equation 1 and 2 are integrated and resolved using linear techniques.

$$\frac{dX}{dt} = (k_g - k_d)X \quad \mu = \mu_{max} \frac{S}{K_s + S} \quad (6)$$

In this study, the variable "X" represents the concentration values of chlorophyll-a (Chl-a), while "S" denotes the substrate concentration, encompassing total nitrogen in the form of NO₃⁻N and NH₄⁺-N, as well as PO₄³⁻. Given the uncertainty regarding which specific type of nitrogen the algae primarily utilizes, the combined total of nitrate and ammonia nitrogen was employed as the nutrient source (Fig. 3 and Fig. 4). For substrate total NO₃⁻-N and NH₄⁺-N, μ_{max} is 0.053 day⁻¹, K_s is 0.028mg/L, and for substrate PO₄³⁻, μ_{max} is 0.061 day⁻¹, K_s is 0.042 mg/L.

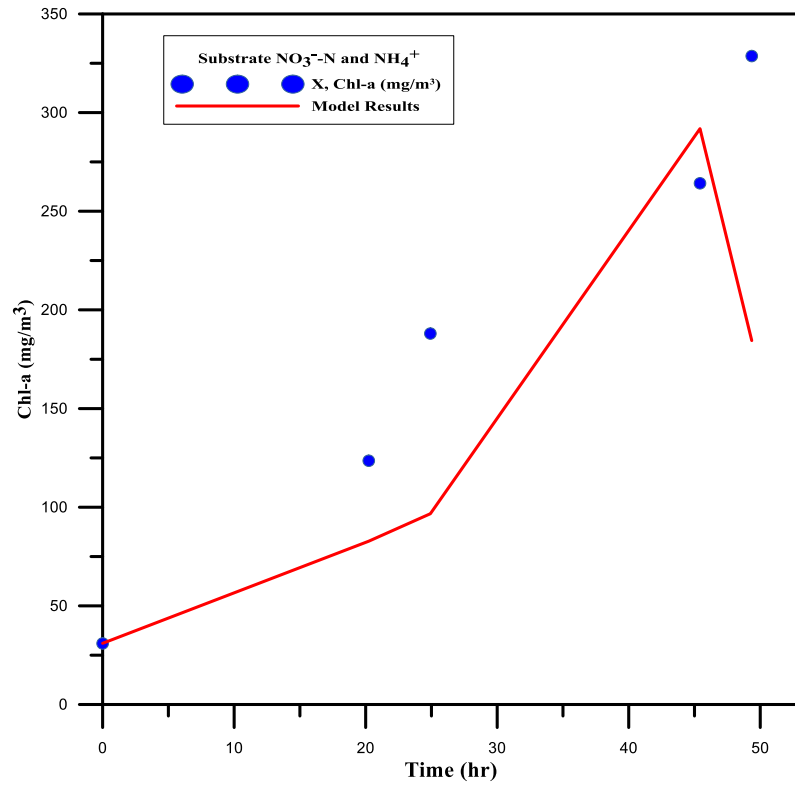


Fig. 3. Model and experimental findings for substrate concentration of NO_3^- -N and NH_4^+ -N

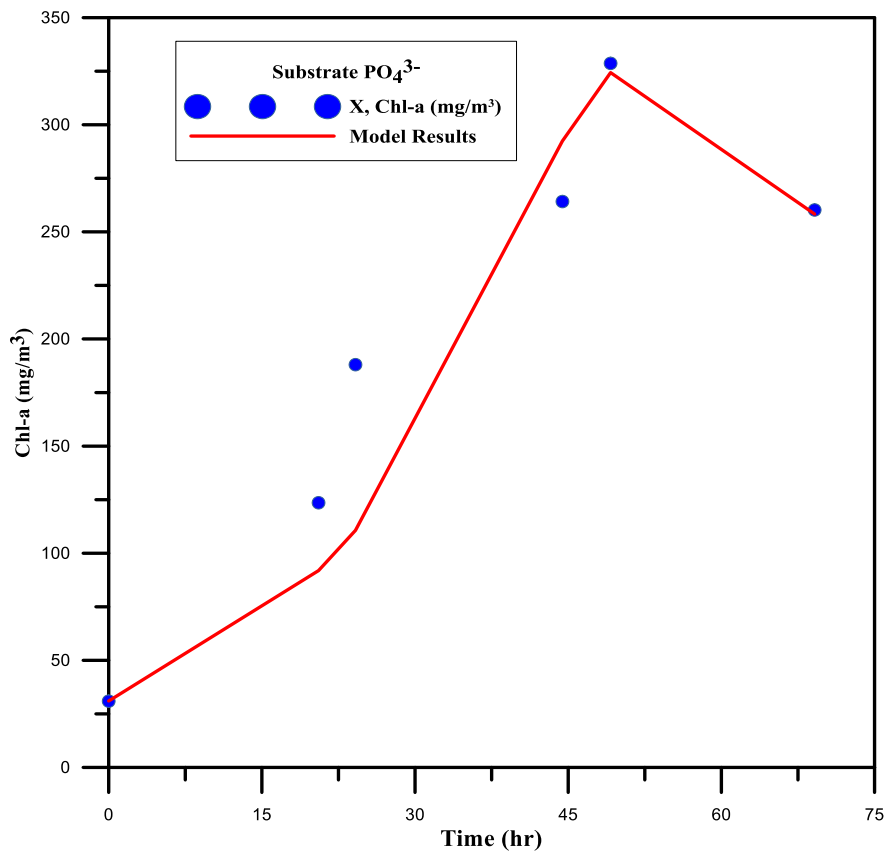


Fig. 4. Model and experimental findings for substrate concentration of PO_4^{3-}

The successful outcomes obtained from the application of microalgae in the elimination of nitrogen and phosphorus from domestic wastewater lead to the conclusion that their utilization is highly effective. Algae have been observed to actively contribute to the restoration of both wastewater and natural bodies of water. Moreover, their ability to rapidly and efficiently utilize the excess nutrients present in wastewater makes them a valuable asset in the treatment process. When employed in

wastewater treatment, microalgae demonstrate their significant role, offering an economical approach with numerous advantages. Furthermore, microalgae have been suggested as a promising biological platform for mitigating carbon dioxide, a significant greenhouse gas, while simultaneously serving as a viable source for valuable compounds such as pharmaceuticals, cosmetics, nutritional products, animal feed, and biofuels. Besides, from an economic perspective, employing a microalgae-based system for the removal of nitrogen, phosphorus, and dissolved organic carbon from various wastewater sources proves to be a significantly more sustainable option compared to conventional systems. This is primarily attributed to the fact that microalgae systems can operate outdoors under natural sunlight conditions, leading to substantial cost reductions [3]. Moreover, bioremediation with using microalgae is a process that typically does not result in secondary pollution [1].

The maximum specific growth rate (μ_{max}) of microalgae typically shows similarity between nitrogen and phosphorus nutrients across various substrates. Nevertheless, it's anticipated that the substrate affinity constant (K_s) would diverge due to differences in nutrient concentrations and utilization behaviors. Given that nitrogen and phosphorus exhibit distinct concentration levels and are assimilated by microalgae at varying rates, the K_s values are expected to mirror these disparities. Hence, the K_s values for nitrogen and phosphorus would be separate, capturing the specific nutrient demands and uptake kinetics of microalgae for each nutrient.

The incorporation of a reliable microalgae kinetic model holds great significance not only in treatment procedures but also in achieving efficient nutrient removal, promoting biomass growth, and optimizing operational parameters in wastewater treatment. A robust microalgae kinetic model serves as a valuable tool for accurately predicting and understanding the dynamics of nutrient uptake, biomass production, and the influence of various operating conditions. By utilizing such a model, wastewater treatment processes can be fine-tuned and optimized to enhance overall system performance and achieve desired treatment outcomes. In conclusion, the kinetic modeling of *C. Vulgaris* microalgae in water treatment can contribute to the development of more effective and efficient water treatment processes. This modeling provides a better foundation for understanding and optimizing the behavior of microalgae, enabling sustainable use of water resources and environmental protection.

References

- [1] A. Abdelfattah *et al.*, "Microalgae-based wastewater treatment: Mechanisms, challenges, recent advances, and future prospects," *Environmental Science and Ecotechnology*, vol. 13, p. 100205, Jan. 2023, doi: 10.1016/j.ese.2022.100205.
- [2] M. Taziki, H. Ahmadzadeh, M. A. Murry, and S. R. Lyon, "Nitrate and Nitrite Removal from Wastewater using Algae," *Current Biotechnology*, vol. 4, no. 4, pp. 426–440, Jan. 2016, doi: 10.2174/2211550104666150828193607.
- [3] P. Srimongkol, P. Sangtanoo, P. Songserm, W. Watsuntorn, and A. Karnchanatat, "Microalgae-based wastewater treatment for developing economic and environmental sustainability: Current status and future prospects," *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, vol. 10, Sep. 2022, doi: 10.3389/fbioe.2022.904046.
- [4] J.-L. Zhou, L. Yang, K.-X. Huang, D.-Z. Chen, and F. Gao, "Mechanisms and application of microalgae on removing emerging contaminants from wastewater: A review," *Bioresource Technology*, vol. 364, pp. 128049–128049, Nov. 2022, doi: 10.1016/j.biortech.2022.128049.
- [5] L. Delgadillo-Mirquez, F. Lopes, B. Taidi, and D. Pareau, "Nitrogen and phosphate removal from wastewater with a mixed microalgae and bacteria culture," *Biotechnology Reports*, vol. 11, pp. 18–26, Sep. 2016, doi: 10.1016/j.btre.2016.04.003.
- [6] S. Rasoul-Amini *et al.*, "Removal of nitrogen and phosphorus from wastewater using microalgae free cells in bath culture system," *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, vol. 3, no. 2, pp. 126–131, Apr. 2014, doi: 10.1016/j.bcab.2013.09.003.
- [7] A. L. Gonçalves, J. C. M. Pires, and M. Simões, "A review on the use of microalgal consortia for wastewater treatment," *Algal Research*, vol. 24, pp. 403–415, Jun. 2017, doi: 10.1016/j.algal.2016.11.008.
- [8] S. Aslan and I. K. Kapdan, "Batch kinetics of nitrogen and phosphorus removal from synthetic wastewater by algae," *Ecological Engineering*, vol. 28, no. 1, pp. 64–70, Nov. 2006, doi: 10.1016/j.ecoleng.2006.04.003.
- [9] M. Amini, Z. Amini Khoei, and E. Erfanifar, "Nitrate (NO_3^-) and phosphate (PO_4^{3-}) removal from aqueous solutions by microalgae *Dunaliella salina*," *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, vol. 19, p. 101097, May 2019, doi: 10.1016/j.bcab.2019.101097.
- [10] F. Cantas, S. Özyön, and C. Yaşar, "Runge Kutta optimization for fixed size multimodal test functions," *International Scientific and Vocational Studies Journal*, vol. 6, no. 2, pp. 144–155, Dec. 2022, doi: 10.47897/bilmes.1219033.

- [11] V. C. Eze, S. B. Velasquez-Orta, A. Hernández-García, I. Monje-Ramírez, and M. T. Orta-Ledesma, “Kinetic modelling of microalgae cultivation for wastewater treatment and carbon dioxide sequestration,” *Algal Research*, vol. 32, pp. 131–141, Jun. 2018, doi: 10.1016/j.algal.2018.03.015.
- [12] S. C. Chapra, *Surface Water-Quality Modeling*. United States of America: Mc Graw-Hill Companies, 1997.
- [13] E. A. O’Neill and N. J. Rowan, “Microalgae as a natural ecological bioindicator for the simple real-time monitoring of aquaculture wastewater quality including provision for assessing impact of extremes in climate variance – A comparative case study from the Republic of Ireland,” *Science of The Total Environment*, vol. 802, p. 149800, Jan. 2022, doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.149800.
- [14] E. H. Buğdaycı, B. Şimşek Uygun, and S. Göncü, “Removal Of Nitrate And Phosphorus From Surface Water And Wastewater Using *Chlorella Vulgaris* Algae Culture In A Batch Reactor,” in *4th International Eurasian Conference on Science, Engineering and Technology (EurasianSciEnTech 2022)*, 14-16 December 2022.

Determining Which Date Is The Day Of The Week

Şaban Yılmaz^{a,1}^a Tokat Gaziosmanpaşa University, Tokat, Turkey
ORCID ID: 0009-0004-2796-1335

Abstract

This study is about determining which day of the week a day falls in history using mathematical equations. Various computer programs or some calendar tables have been prepared on this subject. This study aims to study mathematical equations covering all centuries after Christ. The Gregorian calendar used today was first used as the Julian calendar, and in 1582, it was determined that there was a small error in this Julian calendar. This error was corrected and the Gregorian calendar was created. The aim of this study is to find the equations that correspond to the days of the Julian and Gregorian calendars.

Keywords: “Historical days, days of the week, calculation of days.”

1. Introduction

The Gregorian calendar used today is Hz. Based on the birth of Jesus, A.D. It started to be used as a Julian calendar in 325. A retrospective period of 325 years was established. According to this calendar, Friday, January 1, 325, was considered the first day. This calendar was created by accepting 365 days and 6 hours. The 6-hour excess is called a leap year by taking February as 29 days instead of 28 days every 4 years. But in 1582, it was determined that the earth revolves around the sun in 365 days, 5 hours, 48 minutes and 46 seconds. For this reason, it turned out that there was a difference of 11 minutes and 14 seconds. This shows that it has advanced by approximately 3 days in 400 years. The day after 04 October 1582, 11 days were added and became 15 October 1582, thus correcting the 11-day error of the Julian calendar. This new calendar system was called the Gregorian calendar. In addition, the calendar has been determined so that years that are multiples of 400 are leap years, but years that are multiples of 100 are not leap years. That is, the year 1600 was a leap year, but the years 1700, 1800 and 1900 were not leap years. This calendar started to be used in our country on January 1, 1926.

2. Findings and Determinations

The 1st day of the week is Monday, the 2nd day is Tuesday, the 3rd day is Wednesday, the 4th day is Thursday, the 5th day is Friday, the 6th day is Saturday, and the 7th day is Sunday (day 7=day 0).

1. Definition: The largest integer that is not greater than x , $x \in \mathbb{R}$, is called the exact value of x and is denoted by the symbol $\llbracket x \rrbracket$. For example, $\llbracket 3,25 \rrbracket = 3$, $\llbracket -2,8 \rrbracket = -3$. [1], [6]

2. Definition: Representing each month with a number is called the month's representation number, denoted by T .

1. Theorem (Julian Calendar - Before 04 October 1582 [7]): The x value in the

$$YYYY + \left\lfloor \frac{YYYY}{4} \right\rfloor + T + GG \equiv x \pmod{7} \quad (1)$$

equation, represented by the symbols day GG , month AA , year $YYYY$, gives the Julian calendar, that is, the day of the week on dates before 04 October 1582. Here, January 4, February 0, March 0, April 3, May 5, June 1, July 3, August 6, September 2, October 4, November 0, December 2 are represented by the numbers.

¹ Corresponding Author
E-mail Address: saban.yilmaz@gop.edu.tr

Proof: Since there are 365 days in a year and 7 days in a week, K happens, which means that a certain day coincides with the next day in the following year.

After YYYYY years,

$$365 \cdot YYYYY \equiv YYYYY \pmod{7} \quad (2)$$

is obtained. But there is a leap year situation. Since February will have 29 days every 4 years, there will be an excess of $\left\lfloor \frac{YYYYY}{4} \right\rfloor$.

For January 01, 0325 to be on Friday, the month of January should be represented by the number 4. Because

$$0325 + \left\lfloor \frac{0325}{4} \right\rfloor + 4 + 1 = 411 \equiv 5 \pmod{7} \quad (3)$$

is done. Therefore, the month of January is represented by 4. Since January has 31 days, it is

$$31 + 0 \equiv 3 \pmod{7} \quad (4)$$

and February is represented by the number 0. Since February has 28 days (a leap year will be given as a result), it is

$$28 + 0 \equiv 0 \pmod{7} \quad (5)$$

and March is represented by the number 0. Since March has 31 days,

$$31 + 0 \equiv 3 \pmod{7} \quad (6)$$

is represented by the number 3 in April. Since April has 30 days, it is

$$30 + 3 \equiv 5 \pmod{7} \quad (7)$$

and May is represented by 5. Similarly, other months are also found. In this case, the representative numbers of the month T are formed. Accordingly, the date GG/AA/YYYY is found as

$$YYYY + \left\lfloor \frac{YYYY}{4} \right\rfloor + T + GG \equiv x \pmod{7} \quad (8)$$

olarak bulunur.

Example: Let's research the date of birth of Prophet Muhammad, June 30, 570. The month of April is represented by 3. In equation (1),

$$0570 + \left\lfloor \frac{0570}{4} \right\rfloor + 1 + 30 = 743 \equiv 1 \pmod{7} \quad (9)$$

$x = 1$ and 30 June 570 is Monday. [2]

Example: Let's investigate the date of the Battle of Manzikert, August 26, 1071, which is accepted as the date of the Turks' entry into Anatolia [3]. The month of August is represented by 6. In equation (1),

$$1071 + \left\lfloor \frac{1071}{4} \right\rfloor + 6 + 26 = 1370 \equiv 5 \pmod{7} \quad (10)$$

$x = 5$ and 26 August 1071 is Friday.

Example: Now let's look at the date of the conquest of Istanbul, which is May 29, 1453 [3]. The month of May is represented by 5. In equation (1),

$$1453 + \left\lfloor \frac{1453}{4} \right\rfloor + 5 + 29 = 1850 \equiv 2 \pmod{7} \quad (11)$$

$x = 2$ and May 29, 1453 is a Tuesday.

1. Result: In the calculation of leap years, in January and February,

$$YYYY + \left\lfloor \frac{YYYY}{4} \right\rfloor + T + GG - 1 \equiv x \pmod{7} \quad (12)$$

equation is valid.

Example: Let's examine the date January 15, 1032. Since the year 1032 is a leap year and the month of January is represented by 4 and in equation (2),

$$1032 + \left\lfloor \frac{1032}{4} \right\rfloor + 4 + 15 - 1 = 1308 \equiv 6 \pmod{7} \quad (13)$$

$x = 6$ and January 15, 1032 is Saturday.

2. Theorem (Gregorian Calendar - After October 15, 1582 [8]): The day is GG, the month is AA, the year is YYYY and the first two digits of the year are shown as YY symbols.

$$YYYY + \left\lfloor \frac{YYYY}{4} \right\rfloor + YY - \left\lfloor \frac{YY}{4} \right\rfloor + T + GG \equiv x \pmod{7} \quad (14)$$

The x value in the equation gives the day of the week for dates after October 15, 1582. (The number of representations of months is as in the 1st theorem.)

Proof: In the 1st theorem, information was given about YYYY, $\left\lfloor \frac{YYYY}{4} \right\rfloor$, T and GG. Information about $YY - \left\lfloor \frac{YY}{4} \right\rfloor$ needs to be given here.

In 1582, the Gregorian calendar was adopted because it was determined that the earth's circulation around the sun was 365 days, 5 hours, 48 minutes and 46 seconds. The calendar has been determined so that years with a 3-day difference, which occurs approximately every 400 years, are leap years that are multiples of 400, but years that are multiples of 100 are not leap years. That is, the year 1600 is a leap year, but the years 1700, 1800 and 1900 are not leap years. For this reason, $YY - \left\lfloor \frac{YY}{4} \right\rfloor$ should be added to the 1st theorem. For example, when examining the year 1583, $15 - \left\lfloor \frac{15}{4} \right\rfloor = 12$ days should be added.

Example: Let's investigate the date of August 26, 1922, the date of the start of the great offensive in the War of Independence [4]. Here $YY = 19$ and August is represented by 6. In equation (3),

$$1922 + \left\lfloor \frac{1922}{4} \right\rfloor + 19 - \left\lfloor \frac{19}{4} \right\rfloor + 6 + 26 = 2449 \equiv 6 \pmod{7} \quad (15)$$

$x = 6$ and August 26, 1922 is Saturday.

Example: 1. Our President and head teacher Mustafa Kemal Atatürk passed away on November 10, 1938 [5]. Let's examine the date of death. Again, here $YY = 19$ and November is represented by 0. In equation (3)

$$1938 + \left\lfloor \frac{1938}{4} \right\rfloor + 19 - \left\lfloor \frac{19}{4} \right\rfloor + 0 + 10 = 2447 \equiv 4 \pmod{7} \quad (16)$$

$x = 4$ and November 10, 1938 is Thursday.

2. Result: In the calculation of leap years after October 15, 1582, in January and February

$$YYYY + \left\lfloor \frac{YYYY}{4} \right\rfloor + YY - \left\lfloor \frac{YY}{4} \right\rfloor + T + GG - 1 \equiv x \pmod{7} \quad (17)$$

The equation is valid.

Example: Let's search for the date February 15, 2024. Since the year 2024 is a leap year and February is represented by 0 and in equation (4),

$$2024 + \left\lfloor \frac{2024}{4} \right\rfloor + 20 - \left\lfloor \frac{20}{4} \right\rfloor + 0 + 15 - 1 = 2559 \equiv 4 \pmod{7} \quad (18)$$

3. Conclusion

By examining the calendar changes in the historical process, this study will be able to obtain clearer results from the data used, especially in historical science. It is hoped that this will shed light on historical studies.

In addition, there is an average of 0.000125 days of small error per year, which corresponds to 10.8 seconds per year. Approximately 8000 years would have to pass for this one-day error to occur in the calendar calculation. The use of this calendar in 8000 should be reviewed.

References

- [1] M. Balcı, *Genel Matematik I*. Palme Journalism, pp. 18., ISBN:9786053556374, Ankara, 2021.
- [2] G. Moyer, "The Gregorian Calendar," *Scientific American*, vol. 246, no. 5, pp. 144–152, May 1982, doi: 10.1038/scientificamerican0582-144.
- [3] E. L. Cohen, "Adoption and Reform of the Gregorian Calendar," *Math Horizons*, vol. 7, no. 3, pp. 5–11, Feb. 2000, doi: 10.1080/10724117.2000.11975110.
- [4] V. F. Rickey, "Mathematics of the Gregorian Calendar," *The Mathematical Intelligencer*, vol. 7, no. 1, pp. 53–56, Mar. 1985, doi: 10.1007/bf03023008.
- [5] S. Heddam, "New modelling strategy based on radial basis function neural network (RBFNN) for predicting dissolved oxygen concentration using the components of the Gregorian calendar as inputs: case study of Clackamas River, Oregon, USA," *Modeling earth systems and environment*, vol. 2, no. 4, pp. 1–5, Oct. 2016, doi: 10.1007/s40808-016-0232-5.
- [6] S. B. Burnaby, *Elements of the Jewish and Muhammadan calendars : with rules and tables and explanatory notes on the Julian and Gregorian calendars*. G. Bell, 1901. Accessed: Apr. 01, 2024. [Online]. Available: <http://ci.nii.ac.jp/ncid/BA50866714>
- [7] W. T. Lynn, "The Indian Calendar, with Tables for the conversion of Hindu and Muhammadan into A.D. dates, and vice versâ," *Nature*, vol. 54, no. 1393, pp. 219–220, Jul. 1896, doi: 10.1038/054219a0.
- [8] S. Babwani, "88.77 An extended approach to the Julian and the Gregorian calendar," *The Mathematical Gazette*, vol. 88, no. 513, pp. 569–573, Nov. 2004, doi: 10.1017/s0025557200176375.
- [9] A. L. Prescott, "Refusing translation: The Gregorian calendar and early modern English writers," *The Yearbook of English Studies*, vol. 36, no. 1, pp. 1–11, 2006, doi: 10.1353/yes.2006.0054.
- [10] A. C. Sparavigna, "The First Calends of the Julian Calendar," *SSRN Electronic Journal*, 2019, doi: 10.2139/ssrn.3389310.
- [11] R. Lamont, "The Reform of the Julian Calendar," *Popular Astronomy*, vol. 28, pp. 18–32, Jan. 1920.
- [12] "The Nundines, and early times of the Julian Calendar," *Cambridge University Press eBooks*, pp. 327–337, Aug. 2012, doi: 10.1017/cbo9781139383127.021.
- [13] A. K. Michels, *Calendar of the Roman Republic*. Princeton University Press, 1968. doi: 10.1515/9781400849789.
- [14] S. J. D. Cox, "Time ontology extended for non-Gregorian calendar applications," *Semantic Web*, vol. 7, no. 2, pp. 201–209, Feb. 2016, doi: 10.3233/sw-150187.

Monte Carlo Increased-Radius Floating Random Walk Solution For Potential Problems

Ali Ihsan Canakoglu ^{a,1}

^a Department of Electrical & Electronics Engineering, Dumlupinar University, 43100, Kutahya, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-3333-4512

Abstract

In this paper, a new Monte Carlo walk method is introduced. The increased radius floating random walk combines of the two classical Monte Carlo methods and derived from fixed-radius floating walk method. In this paper, the method is used to solve typical Laplace's equations in rectangular region. Also, this method is easily applied to Poisson equations. Lower walk number and hence lower computation time are obtained from new method compared with the fixed random walk, floating random walk and fixed-radius random walk methods. Analyzes were performed on an average computer and the solution time was reduced by 80%. The results are also compared with Finite Element Method. Increased radius walk method's results are good agreement with other methods.

Keywords: "Floating random walk, Laplace equations, Monte Carlo method, numerical methods, potential problems."

1. Introduction

In many engineering disciplines, calculations of potentials or fields are needed for many problems such as in heat conduction, fluid dynamics and electromagnetics. The mathematical basis and techniques needed are well known, but are often difficult to apply in the complicated three-dimensional geometries. Nowadays finite element method or finite difference methods are widely used for determining the potential and field solutions. It is difficult to use finite-element or finite difference methods to calculate electric potentials or fields near a high-voltage transmission tower, or stress-control fitting, because of the large number of mesh points or nodes needed to give an adequate representation of the geometry. The Monte Carlo methods give a convenient and flexible means of tackling these and similar problems in electrical power engineering, and may also be used for potential theory calculations in other branches of engineering. The goal of the method is to solve Dirichlet's problem: to find a potential (and its derivatives) which satisfies Laplace's equation within a given region and takes specified values on its boundary [1]. There are a lot of studies in the literature about Monte Carlo method [2-5]. The Monte Carlo methods are widely used in electromagnetics problems, areas of applications include electrostatics, waveguide analysis and antennas. It is easily applied to Laplace's and Poisson's equations in both two and three-dimensional cases [6], and time-dependent problems [7]. There are many types of Monte Carlo method. Some and significant ones are as follows:

1. Fixed random walk
2. Floating random walk
3. Exodus method

The first two methods are the most popular. In fixed random walk, the step size is fixed and steps of the random walks are constrained to lie parallel to the coordinate axes. It takes a long time to compute the potential at a given point. On the other hand, in floating random walk, the step size is not fixed. Hence the computation is more rapid than in the fixed random walk. Yu and friends [2], in their work, two techniques are developed to accelerate the floating random walk method for the electrostatic computation involving rectilinear shapes. Garcia and Sadiku [8] have introduced a new walk procedure in addition to these existing three types, named fixed-radius floating random walk. The aim of this method is to decrease the runtime and to eliminate the need to check for the shortest distance to the border. If the radius of the circle in floating random walk is fixed, then the programming the random walk becomes easier. Thus it is more effective and it reduces the runtime considerably. Although Monte Carlo simulation is a slow and costly technique, it does have some advantages that are as follows:

¹ Corresponding Author
E-mail Address: aihsan.canakoglu@dpu.edu.tr

1. Don't require input data
2. Conceptually easier to understand
3. Easy programming

The major disadvantage of the Monte Carlo methods is that they permit calculating the potential only one point at a time. For whole field calculations, other numerical techniques such as finite element and finite difference methods are preferred. For whole field computation, several techniques have been proposed such as shrinking boundary method [9] and inscribed figure method [10].

In this paper, a new walk method, namely increased-radius floating random walk, is introduced. This method is based on the fixed-radius floating random walk. In this method, the radiuses of the circles are increased with Δr at every step. Thus, the arriving time to a border is dramatically reduced.

2. Monte Carlo Method

The mathematical basis of the Monte Carlo method is easily found in the literature [11]. Briefly, two important concepts serve as a mathematical basis:

1. The mean value theorem of potential
2. Green's function of the first kind

Also, generating random numbers and application to the Laplace equation in rectangular and axisymmetric regions are given in [12]. Let us suppose that the fixed random walk is to be applied to solve Laplace's equation:

$$\nabla^2 V = 0 \text{ in region } R \quad (1)$$

subject to the Dirichlet boundary condition,

$$V = V_p \text{ on boundary } \Gamma \quad (2)$$

We now consider cases involving rectangular and axisymmetric solution regions.

2.1. Rectangular Solution Region

The region R is divided into a finite difference square mesh and Eq. (1) is replaced by its finite difference equivalent as [13],

$$V(x, y) = p_{x+} V(x + \Delta, y) + p_{x-} V(x - \Delta, y) + p_{y+} V(x, y + \Delta) + p_{y-} V(x, y - \Delta) \quad (3)$$

$$p_{x+} = p_{x-} = p_{y+} = p_{y-} = \frac{1}{4} \quad (4)$$

To calculate the potential at (x_n, y_n) a particle is asked to begin a walk at that point. The particle proceeds to wander from node to node in the grid until it reaches the boundary. It wanders through the mesh according to the probabilities in Eq. (4) until it reaches the boundary where it is absorbed and the prescribed potential $V_p(1)$ is recorded. By sending out N particles from (x_n, y_n) and recording the potential at the end of each walk, we obtain:

$$V(x_n, y_n) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N V_p(i) \quad (5)$$

2.2. Axisymmetric Solution Region

For $V = V(\rho, z)$, the finite difference equivalent of Eq. (1) for $\rho \neq 0$ is:

$$V(\rho, z) = p_{\rho+} V(\rho + \Delta, z) + p_{\rho-} V(\rho - \Delta, z) + p_{z+} V(\rho, z + \Delta) + p_{z-} V(\rho, z - \Delta) \quad (6)$$

where $\Delta\rho = \Delta z = \Delta$ and the random walk probabilities are given by:

$$\begin{aligned}
p_{z+} &= p_{z-} = \frac{1}{4} \\
p_{\rho+} &= \frac{1}{4} + \frac{\Delta}{8\rho} \\
p_{\rho-} &= \frac{1}{4} - \frac{\Delta}{8\rho}
\end{aligned} \tag{7}$$

For $\rho = 0$, the finite difference equivalent of Eq. (1) is:

$$V(0, z) = p_{\rho+} V(\Delta, z) + p_{z+} V(\rho, z + \Delta) + p_{z-} V(\rho, z - \Delta) \tag{8}$$

so that

$$p_{\rho+} = \frac{4}{6}, \quad p_{\rho-} = 0, \quad p_{z+} = p_{z-} = \frac{1}{6} \tag{9}$$

The random-walking particle is instructed to begin walking at (ρ_n, z_n) . It wanders through the mesh according to the probabilities in Eq. (7) and Eq. (9) until it reaches the boundary where it is absorbed and the prescribed potential $V_p(1)$ is recorded. By sending out N particles from (ρ_n, z_n) and recording the potential at the end of each walk, we obtain the potential at (ρ_n, z_n) as:

$$V(\rho_n, z_n) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N V_p(i) \tag{10}$$

3. Increased-Radius Floating Random Walk Solution Algorithms

At the beginning, let's describe the solution with fixed-radius random walk. In order to obtain the potential at a given point $P(x_n, y_n)$ with fixed-radius random walk, a circle is placed on point P whose radius is r_0 . To perform a step, a random point is selected on this circle. On this new point, a new circle is placed with the same radius. The steps are repeated until it reaches to a boundary. Walk is completed when the boundary is reached.

3.1. Algorithm for Rectangular Region

For increased-radius walk algorithm which has been developed in this paper, same procedure can be followed up. Here is a simplified algorithm for solving Laplace's equation at a particular point $P(x_n, y_n)$:

Step 1. Determine the "radius r_0 " of the walk and the tolerance T: These values are determined empirically. Record the initial radius r_0 as r for reaching to the border within the tolerance.

Step 2. Perform the step: From the point $P(x_n, y_n)$, generate a circle of radius r_0 and randomly select a point on that circle. The point is determined by generating a random number in the interval $[0, 1]$ and multiplying by 2π to obtain the angle θ . The following equations are used to determine the new point:

$$x_{n+1} = x_n + r_0 \cos(\theta) \tag{11}$$

$$y_{n+1} = y_n + r_0 \sin(\theta) \tag{12}$$

Step 3. Increase the radius of circle for next step: Increase the radius of circle by Δr :

$$r_0 = r_0 + \Delta r \tag{13}$$

Step 4. Determine if a walk has been performed: From new position, check to see if the step has reached the border within tolerance T. If $T \geq r$, constraint is satisfied then no step will go outside the border. If $T < r$, suppose that border is reached and record the potential ($V_p(i)$) at that particular border and go to Step 2.

Step 5. Compute the potential for point $P(x_n, y_n)$: After a sufficient number of walks (N), the potential is determined using the following formula:

$$V(x_n, y_n) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N V_p(i) \quad (14)$$

An illustrative description of a typical walk is shown in Fig. 1. The solution region is a rectangular and the potential values at the boundaries are V_1 , V_2 , V_3 and V_4 respectively. As shown in Fig. 1, after four steps, the border has been reached. At fourth step, two possible points which are can be determined. If walk has reached to the point P_1 , then the potential to be recorded is V_1 , otherwise V_2 .

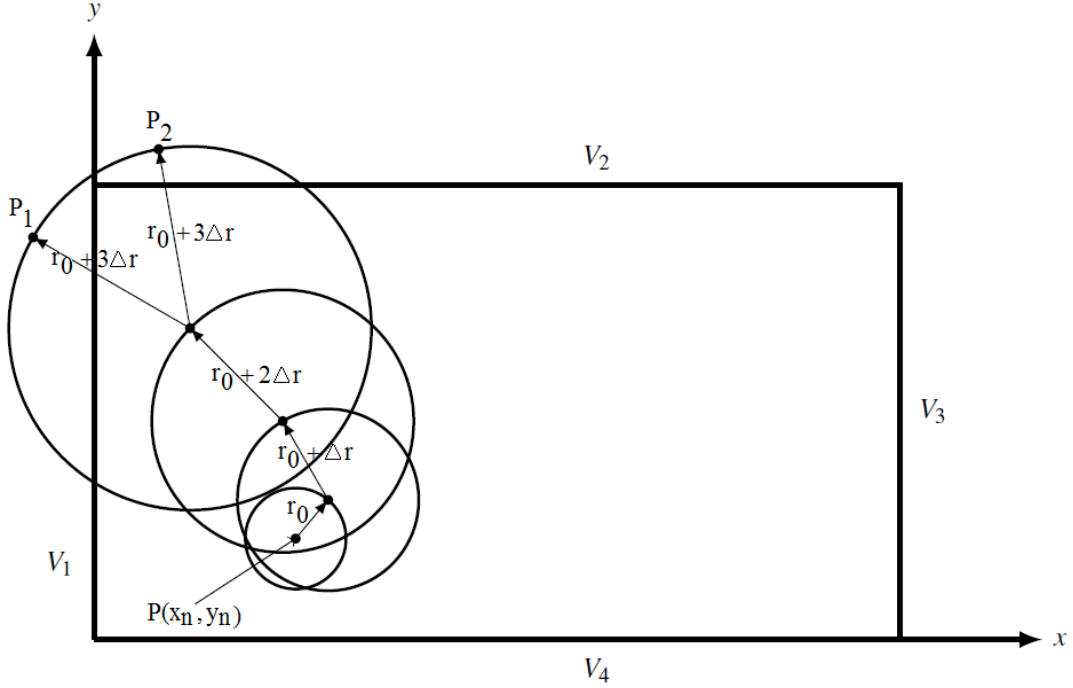


Fig. 1. Increased-radius floating random walk for an arbitrary rectangular region.

3.2. Algorithm for Axisymmetric Region

The algorithm for axisymmetric region is quite similar to the rectangular case. Because of line of symmetry, two considerations must be taken into account for axisymmetric regions [9].

1. If a step lies on the left side of the line of symmetry, the point is reflecting back to the right side.
2. If a step lies on the line of symmetry, the next step must have angle (ϕ) as such that $-\pi < \phi < \pi$.

3.3. Algorithm for Three-Dimensional Rectangular Region

Similar to the original algorithm, the modified version of the algorithm for a three-dimensional rectangular solution region is the same as for the two-dimensional case. Steps in three-dimensional case are performed on spheres instead of circles. The Radius of spheres on the next step is increased by ΔR . The next point on a sphere can be determined by the following equations:

$$\begin{aligned} x_{n+1} &= x_n + R_0 \cos(\varphi) \sin(\theta) \\ y_{n+1} &= y_n + R_0 \sin(\varphi) \sin(\theta) \\ z_{n+1} &= z_n + R_0 \cos(\theta) \end{aligned} \quad (15)$$

In the Eq. (15), R_0 is the initial radius of sphere. The radius of sphere on the next step is $R_0 = R_0 + \Delta R$.

4. Illustrative Examples

4.1. Comparison with Fixed-Radius Floating Random Walk: Example I

The new walk method described in this paper is compared with fixed-radius floating random walk methods. Methods are compared in terms of speed and accuracy. The methods were implemented on a Core2Duo 3.16 GHz PC. The source codes were written in MATLAB. Example is provided to illustrate the validity for the increased radius floating random walk. The exact solution for the problem can be found in [12]. As shown in Fig. 2, the aim of the example is to solve Laplace's equation:

$$\nabla^2 V = 0 \quad (16)$$

subjected to the following Dirichlet boundary conditions: $V(x,0)=0$, $V(0,y)=0$, $V(x,1)=100$, $V(1,y)=0$

The fixed-radius floating random walk and increased-radius floating random walk methods were carried out with 500, 1000, 1500 and 2000 walks. The initial radius of circle r_0 for increased radius floating random walks was chosen as 0.01 and this value is constant for fixed-radius floating random walk. The increment of radius of circle in increased-radius floating random walk was chosen as 0.001. Tolerance value (T) was chosen as 0.005. Every walks in both methods was repeated 10 times. Three typical points were chosen in solution region and the results are given in Table 1. The results of exact solution for these three points are 43.20, 25 and 6.79 V, respectively.

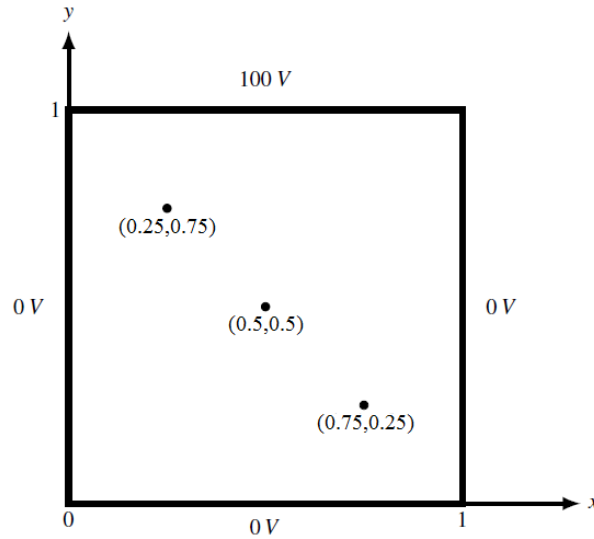


Fig. 2. Solution region for example I.

Table 1 presents the solutions for three points. In Table 1, \bar{m} shows the average step size and \bar{t} shows the average runtime values of 10 repeated walk. Random numbers for each walk are different for both methods. The \bar{m} and \bar{t} values are depending on random numbers.

Table 1. Results for example 1 ($r_0 = 0.01$, $\Delta r = 0.001$).

Point (x,y)	N	Fixed-radius walk			Increased-radius walk		
		Pot. (V)	\bar{m}	\bar{t} (s)	Pot. (V)	\bar{m}	\bar{t} (s)
(0.25,0.75)	500	42.16	136	2.72	42.67	6	0.12
	1000	42.92	67	5.36	43.28	7	0.27
	1500	43.69	50	8.37	43.16	8	0.31
	2000	43.50	350	10.80	43.09	9	0.42
(0.5,0.5)	500	24.88	155	4.50	24.74	7	0.13
	1000	25.22	90	9.00	24.86	10	0.27
	1500	25.10	148	13.05	25.16	9	0.40
	2000	25.35	400	18.00	25.05	11	0.53
(0.75,0.25)	500	6.76	52	2.82	6.52	22	0.51
	1000	6.85	210	5.60	6.76	26	1.03
	1500	6.80	394	8.27	6.75	42	1.55
	2000	6.78	208	10.90	6.90	18	2.05

Fig. 3, 4 and 5 shows the average run time comparison for three points respectively.

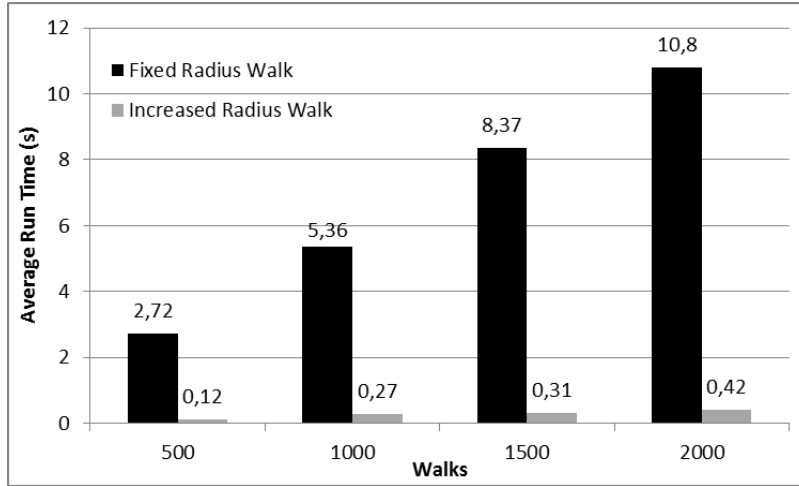


Fig. 3. Average run time comparison for 0.25 mm, 0.75 mm point.

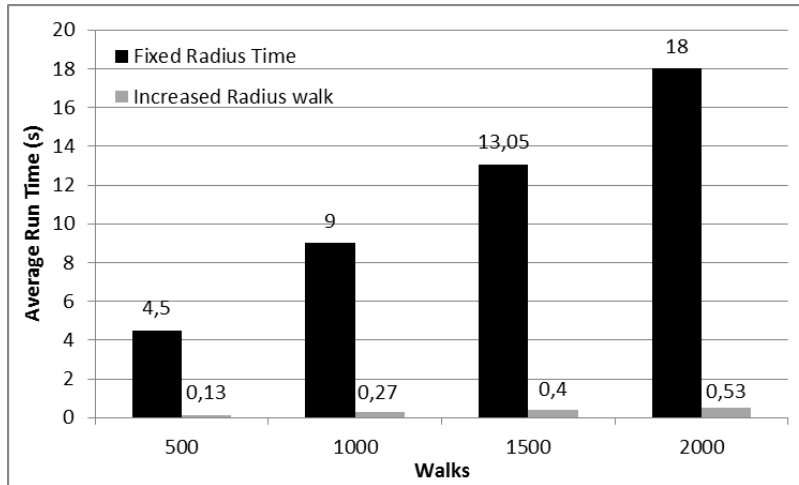


Fig. 4. Average run time comparison for 0.5 mm, 0.5 mm point.

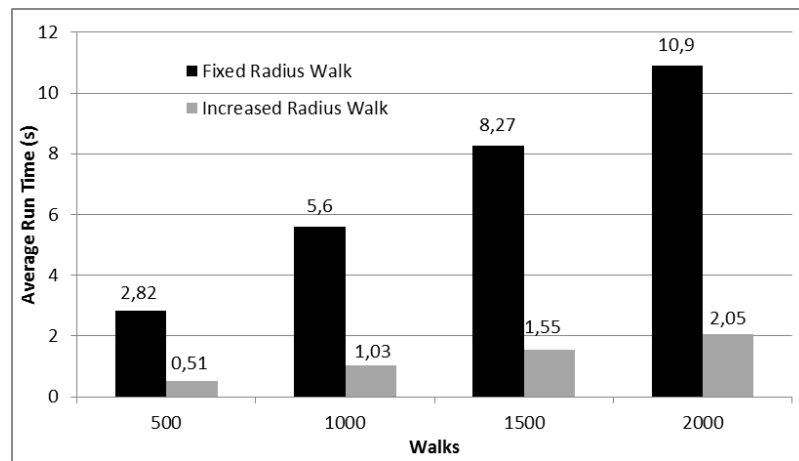


Fig. 5. Average run time comparison for 0.75 mm, 0.25 mm point.

Table 1 and Fig. 3, 4 and 5 show that the average step sizes of increased-radius floating random walk are less than that of fixed-radius floating random walk. Hence the runtime are reduced. The runtime is important when the solution points in the solution region are more than one point. In this situation, more than one walk must be started simultaneously. The results are in good agreement with the exact and fixed-radius floating random walk solutions.

4.2. Comparison with Finite Element Method: Example II

In addition, the method proposed here was compared with the finite element method. The solution region is also in rectangular coordinates and shown in Fig. 6. The problem is to solve Laplace's equation with the following Dirichlet boundary conditions:

$$V(x,0) = 0, V(0,y) = 0, V(2,y) = 0, V(x,2) = 0, V(x,4) = 20, V(x,4) = 30 \quad ; \quad (17)$$

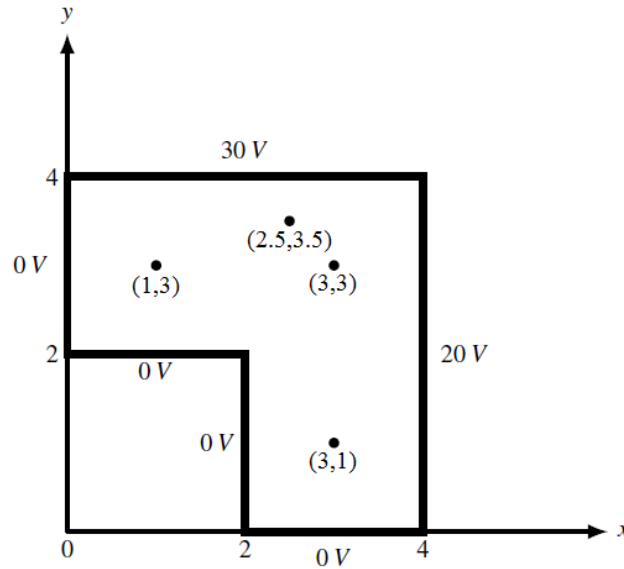


Fig. 6. Solution region for example II.

Finite element solution was performed with FEMM software [14]. The mesh created in FEMM model is with 3201 nodes. The results for four typical points are shown in Table 2. The initial radius for increased-radius floating random walk was chosen as $r_0 = 0.001$ and the increment was taken as $\Delta r = 0.0001$. The tolerance was set to $T = 0.005$. Each walk is repeated 10 times and the average values of the steps and time are also shown in Table 2.

As can be seen from Table 2, the results are very close compared with finite element method. The initial radius of circle and the increment value can be chosen as small as possible.

Table 3 shows the potential values at three points for various r_0 values. The increment of radius was chosen as $\Delta r = 0.1r_0$. The number of walks is set to 2000. In Table 3, δ is the error estimate, which is obtained by repeating each calculation 10 times [15]. For the increased-radius floating random walk, it was noted that 2000 walks were sufficient for the solution to converge. It seems from the results that the 0.01 value of initial radius of the circle and the increment value are also sufficient.

Table 2. Results for example 2 ($r_0 = 0.001$, $\Delta r = 0.0001$).

Point (x,y)	N	FEM	Increased-radius walk		
		Potential (V)	Potential (V)	\bar{m}	\bar{t} (s)
(3, 1)	500	8.13	8.00	45	1.26
	1000		8.12	109	2.40
	1500		8.14	58	3.70
	2000		8.15	74	4.94
	500		19.57	93	1.33
(3, 3)	1000	19.71	19.60	71	2.70
	1500		19.64	80	4.03
	2000		19.67	66	5.40
	500		11.53	103	1.23
	1000		11.56	77	2.47
(1, 3)	1500	11.57	11.63	103	3.70
	2000		11.52	121	4.90
	500		23.63	58	1.16
	1000		23.80	92	2.34
	1500		23.75	88	3.51
(2.5, 3.5)	2000		23.85	59	4.66

Table 3. Potential values and error estimates for example 2 (N = 2000, $\Delta r = 0.1r_0$).

Point (x,y)	FEM (V)	r_0	Increased-radius walk ($V \pm \delta$)
(3, 1)	8.13	0.01	8.1510±0.029760
		0.001	8.1518±0.083900
		0.0001	8.0840±0.080030
		0.01	19.6440±0.05710
(3, 3)	19.71	0.001	19.6740±0.07056
		0.0001	19.6920±0.05370
		0.01	11.6310±0.06174
		0.001	11.6890±0.09238
(1, 3)	11.57	0.001	11.6890±0.09238
		0.0001	11.5350±0.13117

5. Conclusions

A new walk method for Monte Carlo method has been implemented in this paper. The method has been applied to Laplace's solution in rectangular region in two dimensions. It can be easily applied to other coordinate systems and three dimensional cases. The results obtained from the new walk method are in good agreement with those obtained using finite element solution, fixed-radius floating random walk and exact solution methods. Analyzes were performed on an average computer and the solution time was reduced by 80%.

The advantages of the new method can be summarized as follows:

1. Runtimes are reduced considerably.
2. The user can choose the initial radius of circle very small.
3. The implementation of the algorithm will be very suitable for multi-point calculations performed at the same time.
4. It will be very useful when starting one more particle simultaneously at a given point.

References

- [1] J. H. Pickles, "Monte Carlo field calculations," *Proceedings of the Institution of Electrical Engineers*, vol. 124, no. 12, p. 1271, 1977, doi: 10.1049/iece.1977.0268.
- [2] W. Yu, K. Zhai, H. Zhuang, and J. Chen, "Accelerated floating random walk algorithm for the electrostatic computation with 3-D rectilinear-shaped conductors," *Simulation modelling practice and theory*, vol. 34, pp. 20–36, May 2013, doi: 10.1016/j.simpat.2013.01.003.
- [3] K. Chatterjee and J. Poggie, "A parallelized 3D floating random-walk algorithm for the solution of the nonlinear Poisson-Boltzmann equation," *Electromagnetic waves*, vol. 57, pp. 237–252, Jan. 2006, doi: 10.2528/pier05072802.
- [4] R. Sotner, A. Lahiri, A. Kartci, N. Herencsar, J. Jerabek, and K. Vrba, "Design of novel precise quadrature oscillators employing ECCIs with electronic control," *Advances in electrical and computer engineering*, vol. 13, no. 2, pp. 65–72, Jan. 2013, doi: 10.4316/aece.2013.02011.
- [5] O. A. Mousavi, M. S. Farashbashi-Astaneh, and G. B. Gharehpetian, "Improving power system risk evaluation method using Monte Carlo simulation and Gaussian mixture method," *Advances in electrical and computer engineering*, vol. 9, no. 2, pp. 38–44, 2009, doi: 10.4316/aece.2009.02007.
- [6] M. N. O. Sadiku, "Monte Carlo methods in an introductory electromagnetic course," *IEEE transactions on education*, vol. 33, no. 1, pp. 73–80, Jan. 1990, doi: 10.1109/13.53630.
- [7] M. N. O. Sadiku, C. M. Akujubobi, and S. M. Musa, "Monte carlo analysis of time-dependent problems," in *Southeastcon '06 Proceedings of the IEEE*, pp. 7-10, 2006.
- [8] R. C. Garcia, and M. N. O. Sadiku, "Monte carlo fixed-radius floating random walk solution for potential problems," in *Southeastcon '96. Bringing Together Education, Science and Technology Proceedings of the IEEE*, 1996, pp. 88-91.
- [9] G. E. Zinsmeister, and J. A. Sawyerr, "A method for improving the efficiency of monte carlo calculation of heat conduction problems," *Journal of Heat Transfer*, vol. 96, pp. 246–248, 1974.

- [10] G. E. Zinsmeister, and S. S. Pan, "A modification of the monte carlo method," *International Journal for Numerical Methods Engineering*, vol. 10, pp. 1057–1064, 1976.
- [11] M. N. O. Sadiku, *Monte Carlo Methods for Electromagnetics*. CRC Press, 1st Ed., 2009.
- [12] M. N. O. Sadiku, *Numerical Techniques in Electromagnetics*. CRC Press, 2nd Ed., 2001.
- [13] M. N. O. Sadiku, and R. C. Garcia, "Whole field computation using monte carlo method," *International Journal of Numerical Modelling*," vol. 10, pp. 303–312, 1997.
- [14] D. Meeker, FEMM (Finite Element Method Magnetics), www.femm.info
- [15] B. Bowerman, and R. T. O'Connell, *Applied Statistics*. The McGraw-Hill Companies, Inc., 1997.

Comparative Analysis of Diabetes Diagnosis with Machine Learning Methods

Tuğba Aktaş^a, İsmail Mert Temel^b, Ahmet Saygılı^{c,1}

^a Department of Computer Engineering, Tekirdağ Namık Kemal University, Tekirdağ, Turkey
ORCID ID: 0009-0005-0580-7502

^b Department of Computer Engineering, Tekirdağ Namık Kemal University, Tekirdağ, Turkey
ORCID ID: 0009-0008-7989-9747

^c Department of Computer Engineering, Tekirdağ Namık Kemal University, Tekirdağ, Turkey
ORCID ID: 0000-0001-8625-4842

Abstract

Diabetes is a disease that occurs when the body cannot regulate the level of sugar (glucose) in the blood. Early diagnosis of this disease is important in preventing more serious diseases that may arise later. Within the scope of this study, an attempt was made to optimize the diabetes data set for use by training it with different models. At the very beginning of the study, Logistic Regression, KNN, SVM (Support Vector Machine), CART (Classification and Regression Trees), RF (Random Forest), Adaboost, GBM (Gradient Boosting Machines), XGBoost (Extreme Gradient Boosting), LGBM (Light Gradient Boosting). Machine), CatBoost models were used. According to the results of the models, RF, LGBM, XGBoost accuracy, and f1 values were observed as the best models, respectively. As a result, in the Random Forest model, which produced the most successful results, Accuracy: 0.88, F1 Score: 0.84, and ROC AUC: 0.95 values were obtained, respectively.

Keywords: "Diabetes, Machine Learning, Random Forest."

1. Introduction

Diabetes arises from deficiencies, ineffectiveness, or inadequate production of the insulin hormone within the body, disrupting carbohydrate metabolism and elevating blood glucose levels. Characterized by symptoms like pronounced thirst, heightened hunger, and frequent urination, this condition, if left untreated, can lead to various complications, particularly impacting vascular health. The deleterious effects of prolonged elevated sugar levels can result in permanent damage to numerous organs including the eyes, kidneys, nerve endings, heart, brain, and lower limb vasculature [1].

Early diagnosis of diabetes is of critical importance in preventing these negative effects. However, diabetes can often progress without showing symptoms. Therefore, the diagnosis of diabetes is made by examinations by specialist doctors or by examining blood samples in a laboratory environment. The information understands the importance of diabetes worldwide that 537 million people have this disease as of 2021 and 6.7 million people died due to diabetes this year alone [2], early diagnosis of diabetes is of great importance to prevent possible complications and reduce the morbidity and mortality caused by this disease [3]. Diabetes is diagnosed through blood tests as well as symptoms of the disease. However, the disease can often progress without showing symptoms and may not be diagnosed even by specialist doctors [4]. Therefore, regular health checks and preventive screenings in individuals at risk are important for early diagnosis of diabetes.

With the development of technology, studies for the early diagnosis of diseases that affect most of the population in the world are increasing. Artificial intelligence and machine learning techniques put humanity at a plus point in terms of time and money in diagnosing many diseases.

The "Diabetes" dataset constitutes a subset of a broader dataset housed at the National Institutes of Diabetes-Digestive-Kidney Diseases in the United States. This dataset specifically pertains to diabetes research conducted on females of Pima Indian descent aged 21 and above, residing in Phoenix, the fifth most populous city in the state of Arizona, USA [5]. In our research, experimental outcomes were derived from the utilization of this dataset.

¹ Corresponding Author
E-mail Address: asaygili@nku.edu.tr

This study consists of three main headings: data preprocessing, feature determination, and classification. Studies were carried out to make the data ready for processing through data preprocessing. At the stage of determining the attributes, the attributes that most represented the data were determined. It has been observed that these processes contribute to the trained model giving the best results. In addition, creating a website using Streamlit with this model contributed to providing users with the opportunity to predict with the model [6]. The second part of our study includes materials and methods, the third part includes the findings, and the fourth and last part includes the results.

2. Material and Method

In this title, the data set used in the study and the methods that enable us to automatically detect diabetes using this series set will be mentioned.

2.1. Data Set

The data set used in the study [5] consists of 768 observations and 9 variables. 8 of the 9 variables are numerical variables, and the target variable (Outcome) is categorical. Out of 768 observations, 500 have a target variable (Outcome) value of 0, and 268 have a value of 1. Therefore, the data set does not show a normal distribution. This can also be seen in the histogram chart.

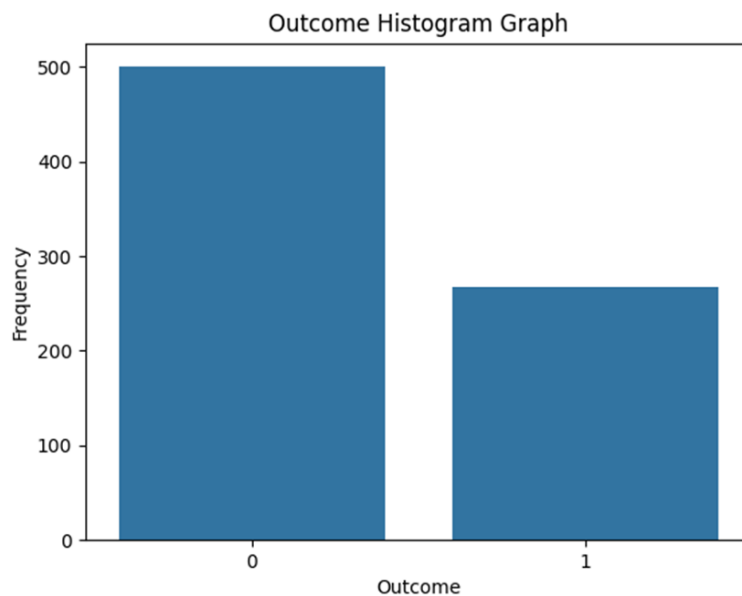


Fig. 1. Outcome Histogram Chart

It was determined that some values in the data set were empty. The distribution of null values is as follows; Glucose 5, Blood Pressure 35, Skin Thickness 227, Insulin 374, and BMI.

Table 1. Data set attributes table

Attribute Name	Attribute Description
Pregnancies	Number of pregnancies
Glucose	2-hour plasma glucose concentration in oral glucose tolerance test
Blood Pressure	Blood Pressure (diastolic blood pressure) (mm Hg)
Skin Thickness	Skin Thickness
Insulin	2-hour serum insulin (μ U/ml)
Diabetes Pedigree Function	Function (2-hour plasma glucose concentration in oral glucose tolerance test)
BMI	Body mass index
Age	Age (years)
Outcome	Patient (1) Healthy (0)

The data in the data set does not show a normal distribution. If it were a normally distributed data set, filling the empty values with the average values would be considered a more appropriate method. However, since the data set did not show a normal distribution, empty values were filled with the median. The median value of those with an Outcome value of 0 was assigned to

the blank values with an Outcome value of 0, and the median value of those with an Outcome value of 1 was assigned to the blank values with an Outcome value of 1.

Box-plot was used in outlier analysis, and larger outliers were observed in the insulin variable compared to others. Figure 2 shows the Box Plot graph where these outliers can be seen.

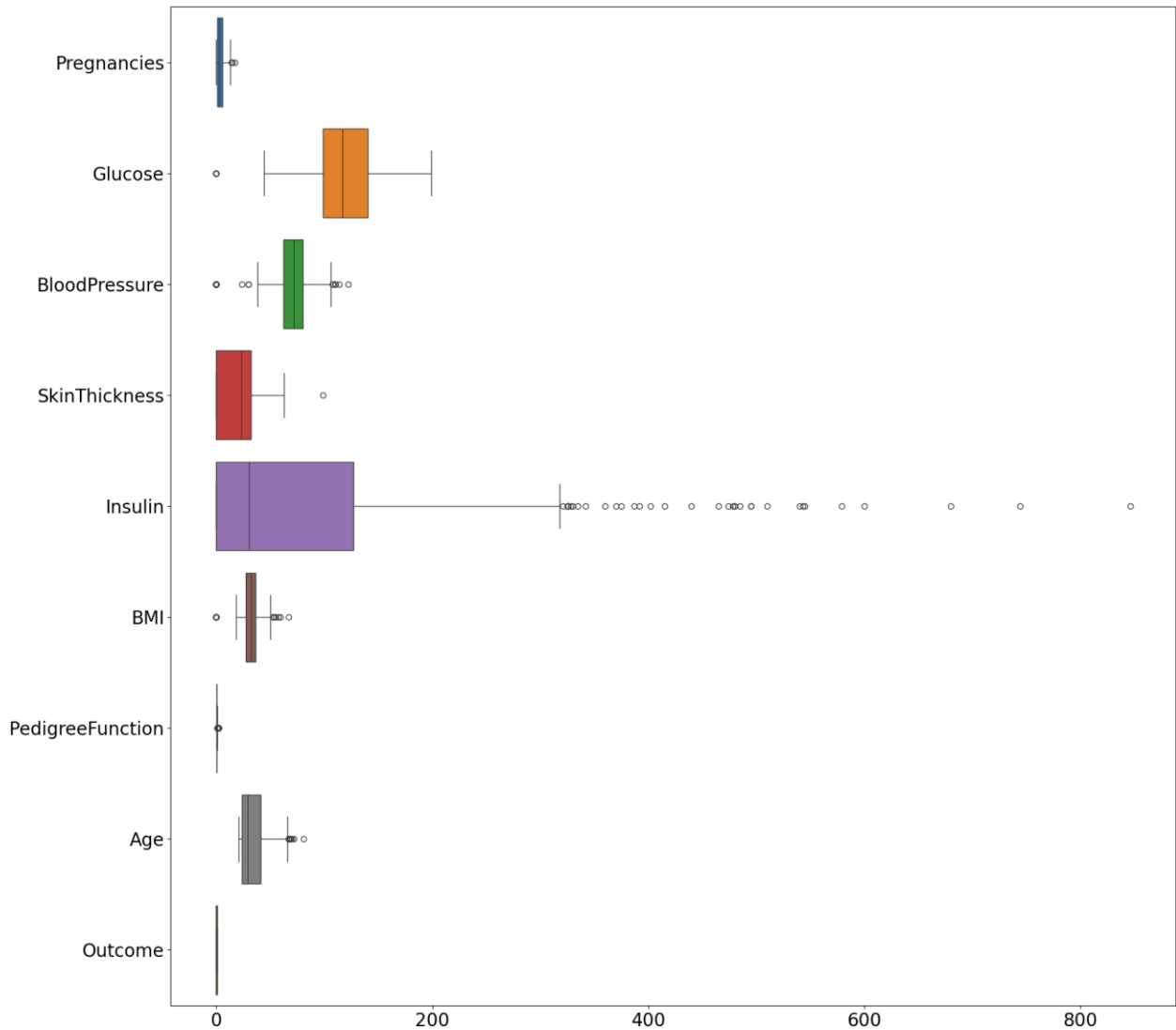


Fig. 2. Box plot graph

Based on this abnormal distribution, the 25th and 75th percentile values were used for the interquartile range. Low-up values of these percentiles were used to suppress outliers. During feature extraction processes, new features such as “NEW_AGE_CAT”, “NEW_BMI”, and “NEW_GLUCCOSE” were produced from some features. Thanks to these new attributes, the values received were divided into certain categories. For example, the age group was divided into 3 groups: "young", "old" and "middle age". Thanks to this categorization, analysis by age groups was provided. As a result, the function returned X and Y values that can be tested in different models.

2.2. Classification Model

The concept of classification is simply distributing data among various classes defined on a data set. Classification algorithms learn this distribution shape from the given training set and then try to classify it correctly when test data whose class is not clear comes [7]. In practical implementation, classification algorithms undergo a two-stage process. Initially, the classification model is constructed through the analysis of a specific dataset labeled as training data (X). Subsequently, this derived classification model is employed to analyze a novel dataset, assessing the presence of identified classes within the data. This new dataset, wherein class labels are endeavored to be predicted and the predictive efficacy of the model is gauged, is referred to as test data.

The partitioning of the dataset into training and test data can be executed through various methodologies. For instance, there exist techniques where 60% of the dataset is designated for training purposes while 40% is reserved for testing, with random or

exponentially changing assignments for training and test sets. However, cross-validation more accurately evaluates the generalization performance of the model. It divides the data set into a limited number of pieces and creates multiple training and test sets by using these pieces sequentially. In this way, the performance of the model in different data sections is evaluated more comprehensively. In this study, models were trained with Random Forest, XGBoost, LGBM, CART, and Voting Classifier using the 10-fold cross-validation method, and the results were observed.

2.2.1. Cross Validation

In the k-fold cross-validation method, first, the training set to be used in the training process is mixed and divided into k subsets of equal size. These processes are repeated k times, and in each iteration, the next subset is removed from the training data set and used as the test set. Once the evaluation process is completed for all parts, the cross-validation model produces a performance measure and results for all data.

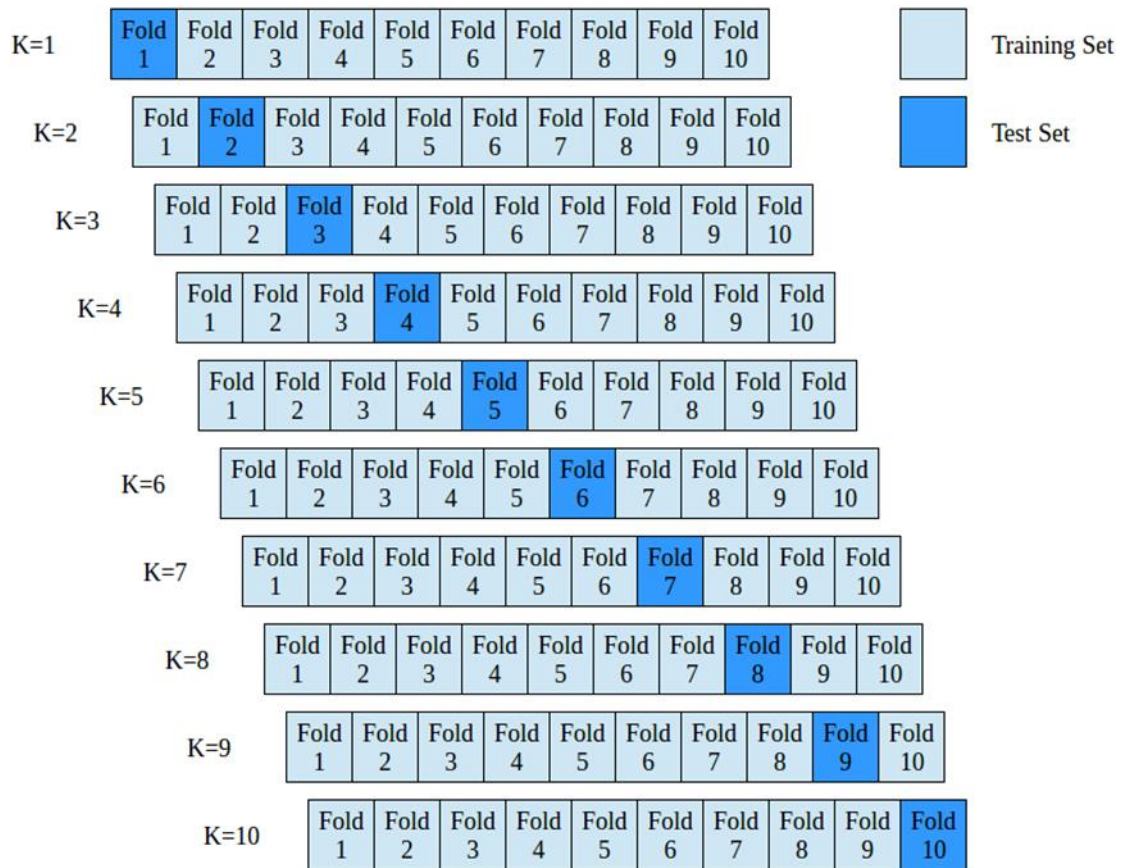


Fig. 3. Cross Validation

The success of the classification model is determined by comparing the number of samples assigned to the correct class and the number of samples assigned to the wrong class. Accuracy, F1 Score, and ROC AUC metrics were used to evaluate model success.

2.2.2. Model performance evaluation metrics.

In this study, the F1 Score, ROC AUC, and Accuracy performance measures were taken into consideration. F1 Score shows the harmonic average of Precision and Recall values. The reason for having a harmonic average instead of a simple average is that we should not ignore extreme cases.

$$F1 - score: 2 \times \frac{Precision * Recall}{Precision + Recall} \quad (1)$$

ROC AUC (Receiver Operating Characteristic Area Under the Curve) is a metric utilized to evaluate the performance of classification models. The ROC curve itself is a graphical representation of the relationship between the True Positive Rate (TPR) and the False Positive Rate (FPR). TPR is plotted on the Y-axis, while FPR is on the X-axis as seen in Figure 4. The area under the ROC curve, denoted as AUC quantifies the degree of separability between different classes. A higher AUC value indicates better discrimination performance between the classes.

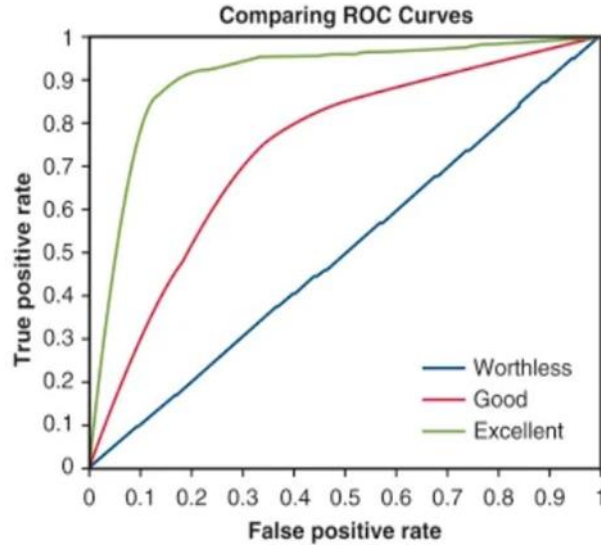


Fig. 4. ROC Curves chart

Accuracy serves as a prevalent metric for evaluating model performance, yet it is not exhaustive in isolation. Computed as the ratio of correctly predicted areas within the model to the entire dataset, accuracy provides a snapshot of predictive success.

$$\text{Accuracy} = \frac{\text{TP} + \text{TN}}{\text{TP} + \text{TN} + \text{FP} + \text{FN}} \times 100 \quad (2)$$

2.3. Classification Methods

For the classification problem addressed in the study, machine learning algorithms existing in the literature were used. The model performances of Logistic Regression, kNN, SVM, and Decision tree were evaluated. The classification algorithms including Decision Tree, Random Forest, Ada Boost, Gradient Boosting, XGBoost (XGB), LightGBM (LGBM), and CatBoost were assessed using the dataset without preprocessing. In this way, the difference in performance measures before and after data pre-processing was examined.

2.3.1. Logistic Regression

Logistic Regression, despite its name containing regression, functions primarily as a classification algorithm, commonly utilized in binary classification tasks [8, 9]. It aims to estimate the probability of an event occurring between two distinct classes. Notably, the divergence between logistic regression and linear regression lies in their methodologies for delineating the boundary between classes. While Linear Regression employs the Least Squares Method to determine the optimal boundary line, Logistic Regression utilizes the Maximum Likelihood approach. Logistic Regression implements the Sigmoid (Logistic) function for classification purposes. This function is characterized by an S-shaped curve, facilitating the conversion of real numbers from the range $(-\infty, \infty)$ to the range $(0, 1)$.

2.3.2. K-Nearest Neighborhood (K-NN)

The K-Nearest Neighbor (K-NN) algorithm is a simple machine learning algorithm used for classification and regression problems. K-NN is one of the supervised learning algorithms structured for different analyses with special operations on various data sets. Essentially, it performs classification or regression by examining the K-Nearest Neighbors around an example.

K-Nearest Neighborhood works on the principle of “belonging to similar classes” [9]. Determines the number of neighbors to use to classify one sample or predict another. Usually, the K value is selected by the user. If the number K is 1, then it is included in the class of its nearest neighbor. In this algorithm, the choice of the number k is of critical importance in determining the result. In addition to the K value, the distance calculation method also affects the performance of the algorithm. The most used among these distance calculation methods is the method known as the Minkowski distance calculation function. Therefore, a comparative analysis of the results obtained using different distance calculation methods can be made.

2.3.3. SVM (Support Vector Machine)

SVM (Support Vector Machine) stands as a prominent machine learning algorithm employed predominantly in classification tasks. It endeavors to delineate the boundary between classes through the utilization of various parameters. This boundary is represented by a plane known as the hyperplane, which effectively segregates the feature space into distinct regions. A Hyper

Plane is a plane that divides the feature space. The SVM method selects and optimizes this hyperplane. SVM is generally applied to nonlinear classification problems. In this case, Kernel functions are used to create nonlinear boundaries in the feature space. Support Vectors are used to maximize the margin between classes and maintain this margin. To prevent overlearning, the C Parameter is used to help these processes. As the C value increases, the model tries to fit more training data sets, which can lead to overlearning [10-12].

2.3.4. CART (Classification & Regression Trees)

CART (Classification & Regression Trees) is an algorithm rooted in decision trees, serving applications in both classification and regression analyses. Notably, it serves as the foundational framework for Random Forest. The primary objective of CART is to streamline intricate structures within datasets into straightforward decision structures. This entails the segmentation of heterogeneous datasets into homogeneous subgroups based on a designated target variable. Decision trees refer to the tree structure used to represent a data set and predict a target variable by splitting the data set by making decisions within it. The CART algorithm creates and refines these decision trees. At each internal node, a decision is made using a feature and a threshold value. Partitioning aims to divide the data set into homogeneous or “purer” subsets. While doing this, division criteria such as the Gini coefficient and Mean Squared Error can be used [13].

2.3.5. Random Forest

Random Forest is a stronger decision tree created by combining many decision trees. Since multiple decision trees are brought together, each tree is modeled using a different subset of data or features in training. These trees are then combined. It is generally used in classification and regression processes. In the Random Forest method, random samples and random features are used when training each tree. At the same time, each tree is trained using a specific subset of features. A randomly selected subset of features is used for each tree. Another feature of the random forest model is that it shows us how important the features are. The most appreciated point about the algorithm is that it allows you to re-explore your data set more deeply by creating various models on it [10, 14].

2.3.6. AdaBoost (Adaptive Boosting)

AdaBoost, short for Adaptive Boosting, is an algorithm designed to construct a robust classifier by amalgamating weaker classifiers. Its operational principle revolves around iteratively refining the classifier by accentuating the significance of misclassified instances from preceding stages. Throughout this iterative process, the weights attributed to misclassified examples are augmented, thereby intensifying the model's attention toward rectifying its deficiencies. This strategic emphasis aims to enhance the model's precision in classification tasks by fortifying its focus and mitigating weaknesses.

2.3.7. Gradient Boosting

The basis of Gradient Boosting is models such as Gradient Boosted Tree (GBM). The basic idea is to add new estimators by trying to correct the errors of previous estimators. In AdaBoost, each example is learned with a weighted emphasis based on the predictions of preceding models. The two biggest advantages of Gradient Boosting are high predictive power, resistance to overfitting, and flexibility. Disease diagnosis and medical diagnosis can be shown as an application area [15].

2.3.8. XGBoost

XGBoost (Extreme Gradient Boosting) is one of the Gradient Boosting algorithms. It is known for its generalization ability, especially in classification and regression tasks. XGBoost includes many improvements to Gradient Boosting. XGBoost works on decision trees. It makes a name for itself with its high performance and high efficiency. The first step in XGBoost is to make the first estimate (Base Score). The model works iteratively. The goal is to ensure that the sum of all models produces a prediction that comes as close as possible to the actual output. This process is accomplished by stepping the loss function along its gradient [16].

2.3.9. LightGBM (Light Gradient Boosting Machine)

LightGBM (Light Gradient Boosting Machine) is an open-source Gradient Boosting framework that provides high performance on large data sets. Many features distinguish LightGBM from others. Providing faster and higher efficiency. Better performance with less memory usage. Justification to better righteousness. Ability to process big data. Supports parallel and GPU learning. These can be considered features that make LightGBM stand out. It offers the flexibility to choose defined custom loss functions and evaluation metrics. LightGBM is optimized to deal with large data sets. Thanks to its parallel computing capabilities and scalable structure, shorter training times can be achieved by reducing training times [17].

2.3.10. CatBoost

CatBoost especially in classification and regression tasks with both numerical, categorical, and text data. It is an open-source Gradient Boosting method designed to provide high performance and ease of use with GPU support and visualization options. CatBoost maintains a row balance as its trees grow. This ensures that when splitting during each feature, other features are less affected. CatBoost automatically adjusts the learning rate and also allows user customization, which distinguishes itself from other gradient-boosting methods [18].

Parameter values of the classifiers used in the study are given in Table 2.

Table 2. Parameter Values of Classifiers

Method	Parameters
Logistic Regression	Default Values
kNN	Number of neighbors: 5 Leaf size: 30 Distance metric: Euclidean
SVM	Default values
CART	Default values
Random Forest	The number of trees in the forest: 100 The function to measure the quality of a split: Gini
AdaBoost	The maximum number of estimators: 50 The learning rate: 1.0
Gradient Boosting	The number of boosting stages to perform: 100 The learning rate: 0.1
XGBoost	Default Values
LightGBM	Maximum tree leaves for base learners:31 Boosting Type: Gradient Boosting Decision Tree Max Depth: -1 The learning rate: 0.1 Number of boosted trees to fit: 100
Cat Boost	Default Values

Table 3 lists the results of machine learning methods before data preprocessing. According to the average of these results, it can be seen from the table that the most successful methods are Cat Boost, Logistic Regression, and Random Forest.

Table 3. Performance Values Before Feature Extraction and Data Preprocessing

Method	ROC_AUC	F1-Score	Accuracy
Logistic Regression	0.83	0.63	0.77
kNN	0.75	0.57	0.72
SVM	0.82	0.58	0.76
CART	0.67	0.57	0.70
Random Forest	0.83	0.61	0.77
AdaBoost	0.82	0.64	0.76
Gradient Boosting	0.82	0.63	0.76
XGBoost	0.79	0.62	0.74
LightGBM	0.80	0.62	0.75
Cat Boost	0.83	0.64	0.77

In the graphs in Figures 5, 6, and 7, we see the accuracy, f1 score, and roc-auc values of the base models before data preprocessing, respectively. In the Accuracy values chart in Figure 5, it is seen that the most successful results were obtained with logistic regression, random forest, and CatBoost methods.

Figure 6 shows the success of F1 Score values according to the methods. When the figure is examined, it is seen that the CatBoost and AdaBoost methods give the highest values.

In Figure 7, we see the performance values of the methods according to ROC Auc values. From this figure as in other metrics, logistic regression, random forest, and CatBoost methods are the most successful.

Figures 8, 9, and 10 show the results obtained after feature extraction and preprocessing. As seen in the graphs in Figures 8, 9, and 10, better results were obtained when classification was performed after data preprocessing and feature engineering

processes. It is seen that there is an increase in all accuracy, f1 score, and roc-auc values. This increase reveals the importance of preprocessing and feature engineering.

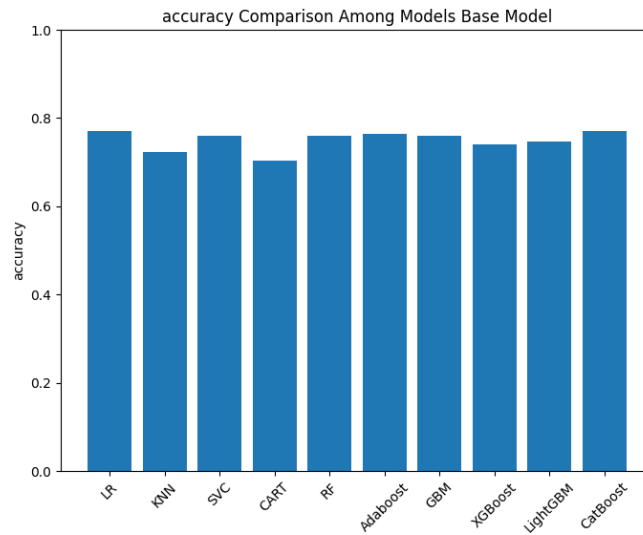


Fig. 5. Accuracy Values for Base Model

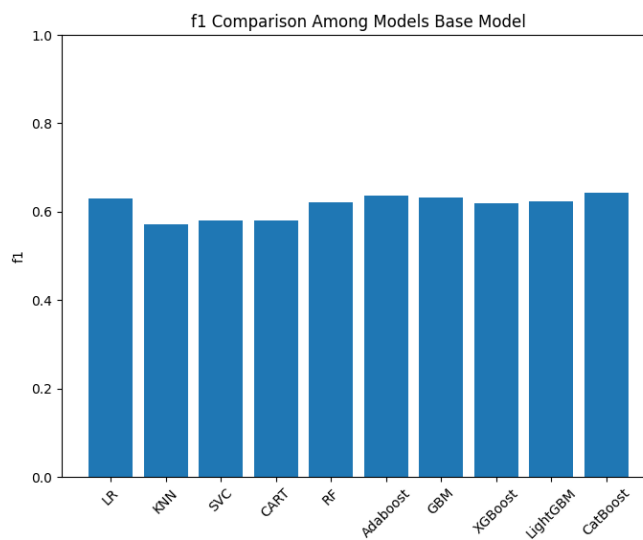


Fig. 6. F1-Score Values for Base Model

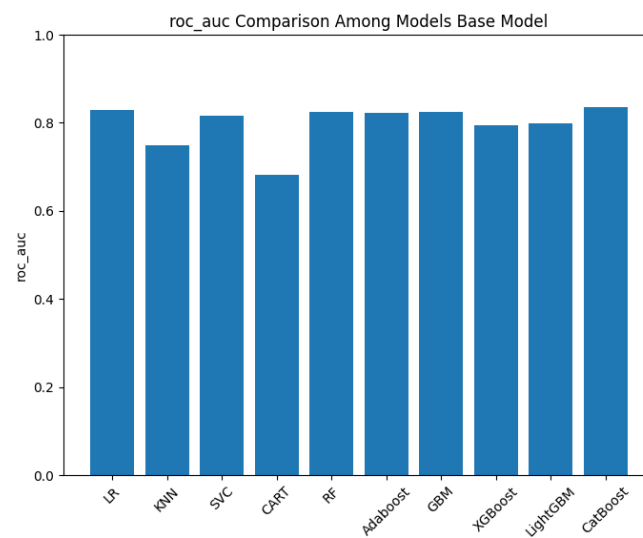


Fig. 7. Roc-AUC Values for Base Model

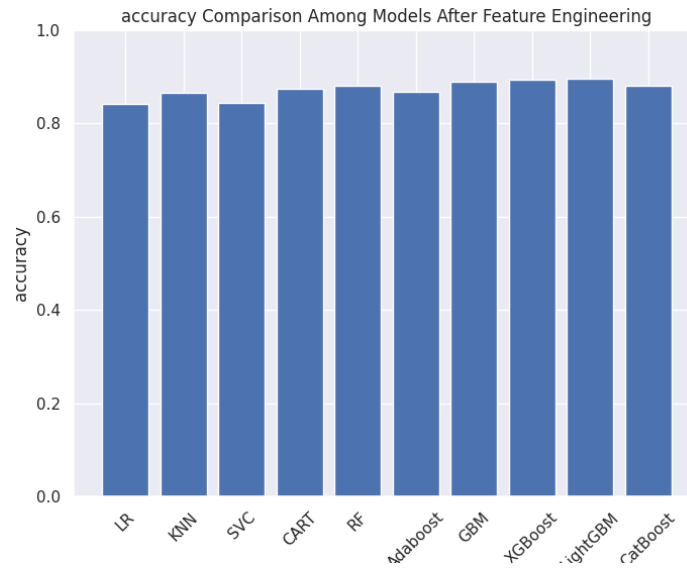


Fig. 8. Accuracy Values after Feature Engineering

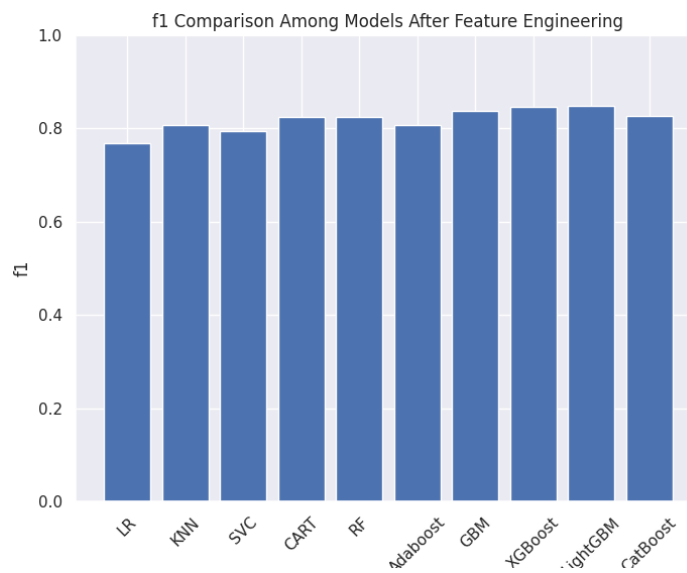


Fig. 9. F1 Values after Feature Engineering

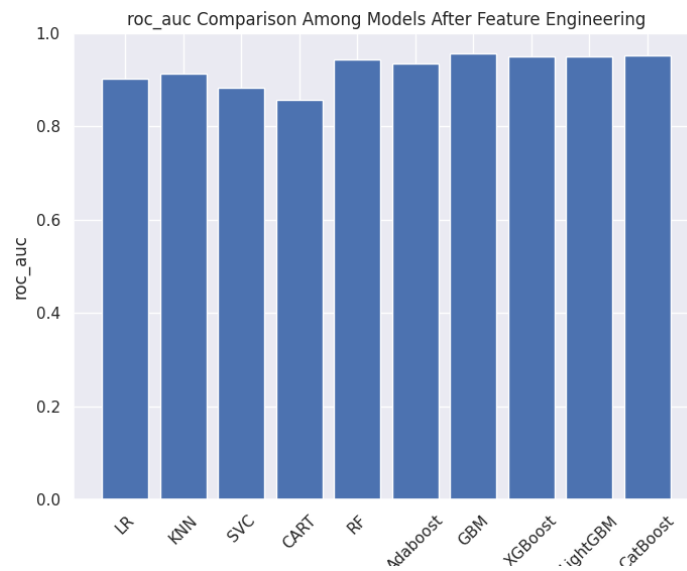


Fig. 10. Roc AUC Values after Feature Engineering

3. Experimental Results

Python programming language and PyCharm were used in this study. The observations in the data set show an unbalanced distribution and action can be taken for this. The outcome value of 0 was made more balanced by removing 250 of the 500 values. It was concluded successfully. However, training the model in its unstable state continued. After data preprocessing and feature extraction, the data set was retrained with the specified classification models. The results have improved noticeably. The models with the highest F1 score and accuracy values are RF, LGBM, and XGBoost. The model was trained using a Random Forest. For the Random Forest model observed after data preprocessing and feature extraction, the Roc_Auc score value was 0.95, the f1 score value was 0.84, and the accuracy score value was 0.88.

Table 3. Performance comparison of the studies

Author	Method(s)	Accuracy	F1 Score	ROC AUC
Mehmet Bilal ER [19]	ESA+LSTM	0,86	0.88	-
Güneş HARMAN [20]	DVM	0,88	0.87	-
Hassan ve Shaheen [21]	Random Forest	0,84	-	-
Başer [1]	Random Forest	-	-	0.91
This Study	Random Forest	0.88	0.84	0.95

Streamlit interface was developed with the model. Information was given to the user by making explanations about diabetes and the data set [6]. The interface of the program is seen in Figure 11.

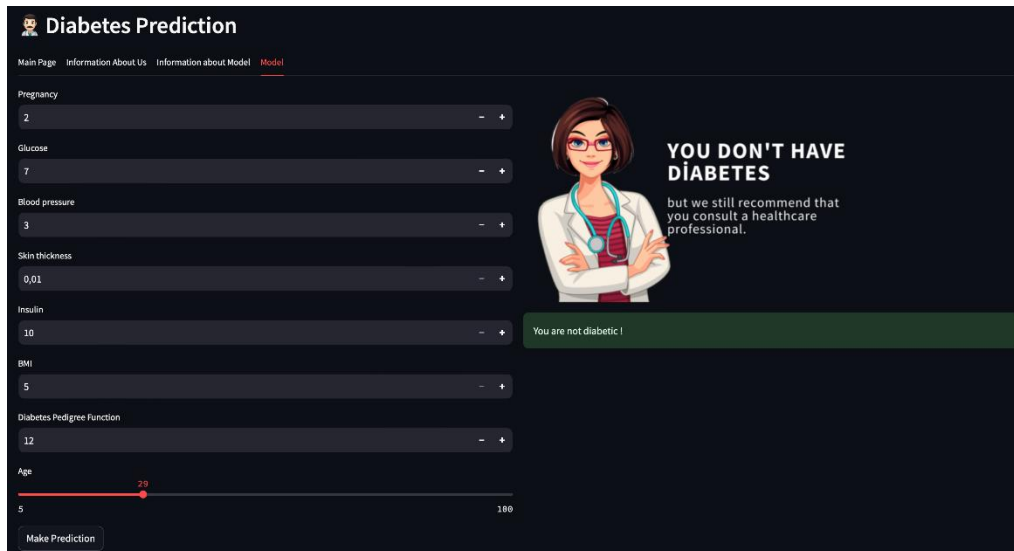


Fig. 11. Streamlit Interface [6]

4. Conclusion

Processing data and obtaining information in the field of health plays a major role in the early diagnosis and treatment of diseases. Machine learning techniques show very successful results in the analysis and diagnosis of these diseases. Diabetes is a serious disease and if not diagnosed early, it can cause unavoidable consequences. Therefore, early diagnosis of such diseases is important. In this study, various machine learning methods were used to predict whether a person has diabetes or not. The results obtained were compared with other studies in the literature and it was observed that current studies are ongoing. After LightGBM, XGBoost, and Random Forest, data preprocessing, and feature engineering, the highest outputs were obtained as f1 score and accuracy value. The most successful results were obtained with the Random Forest modeling method. The results mentioned are a Roc_Auc score of 0.95, an f1 Score of 0.84, Accuracy Score of 0.88, respectively. Since the "Outcome" values of the data set do not have a normal distribution and the decrease in the number of observations in the data set when normalization is attempted may cause the model to memorize, the non-normally distributed version was used. To obtain better results in future studies, a solution will be sought to organize the data and reduce the number of observations.

If a better data pre-processing process is applied and the data is trained in a more balanced way; A mobile application can be created using this forecasting model and easily presented to the user. Thus, an accessible model is developed. Users are aware of their diabetes risks and can be directed to the nearest healthcare facility.

References

- [1] B. Ö. Başer, M. Yangın, and E. S. Sarıdaş, "Makine öğrenmesi teknikleriyle diyabet hastalığının sınıflandırılması," *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, vol. 25, no. 1, pp. 112-120, 2021.
- [2] W. W. H. Organization. "“Diabetes.”." <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/diabetes> (accessed Feb. 12, 2024).
- [3] H. Zhou *et al.*, "A computer simulation model of diabetes progression, quality of life, and cost," *Diabetes care*, vol. 28, no. 12, pp. 2856-2863, 2005.
- [4] U. Köse, "Zeki optimizasyon tabanlı destek vektör makineleri ile diyabet teşhisi," *Politeknik Dergisi*, vol. 22, no. 3, pp. 557-566, 2019.
- [5] A. D. Khare. "“Diabetes Dataset.”." <https://www.kaggle.com/datasets/akshaydattatraykhare/diabetes-dataset/data> (accessed Feb. 1, 2024).
- [6] T. A. a. İ. M. Temel. "“Diagnosing Diabetes Streamlit Web Page.”." <https://github.com/tubaaktas/DiabetesPred> (accessed Feb. 1, 2024).
- [7] G. Bonaccorso, "Machine learning algorithms Packt Publishing Ltd," ed: Packt Publishing Ltd, 2017.
- [8] E. Dağdevir and M. Tokmakçı, "The Role of Feature Selection in Significant Information Extraction from EEG Signals," *International Scientific and Vocational Studies Journal*, vol. 5, no. 1, pp. 1-6, 2021.
- [9] J. P. Mueller and L. Massaron, *Machine learning for dummies*. John Wiley & Sons, 2021.
- [10] A. Saygılı, "Classification and Diagnostic Prediction of Breast Cancers via Different Classifiers," *International Scientific and Vocational Studies Journal* pp. 48-56, 2018.
- [11] A. Saygılı and S. Varlı, "Automated diagnosis of meniscus tears from MRI of the knee," *International Scientific and Vocational Studies Journal*, vol. 3, no. 2, pp. 92-104, 2019.
- [12] S. Suthaharan and S. Suthaharan, "Support vector machine," *Machine learning models and algorithms for big data classification: thinking with examples for effective learning*, pp. 207-235, 2016.
- [13] W. Y. Loh, "Classification and regression trees," *Wiley interdisciplinary reviews: data mining and knowledge discovery*, vol. 1, no. 1, pp. 14-23, 2011.
- [14] G. Biau and E. Scornet, "A random forest guided tour," *Test*, vol. 25, pp. 197-227, 2016.
- [15] A. Natekin and A. Knoll, "Gradient boosting machines, a tutorial," *Frontiers in neurorobotics*, vol. 7, p. 21, 2013.
- [16] T. Chen *et al.*, "Xgboost: extreme gradient boosting," *R package version 0.4-2*, vol. 1, no. 4, pp. 1-4, 2015.
- [17] D. D. Rufo, T. G. Debelee, A. Ibenthal, and W. G. Negera, "Diagnosis of diabetes mellitus using gradient boosting machine (LightGBM)," *Diagnostics*, vol. 11, no. 9, p. 1714, 2021.
- [18] L. Prokhorenkova, G. Gusev, A. Vorobev, A. V. Dorogush, and A. Gulin, "CatBoost: unbiased boosting with categorical features," *Advances in neural information processing systems*, vol. 31, 2018.
- [19] M. B. Er and İ. Işık, "LSTM tabanlı derin ağlar kullanılarak diyabet hastalığı tahmini," *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, vol. 10, no. 1, pp. 68-74, 2021.
- [20] G. Harman, "Destek vektör makineleri ve naive bayes sınıflandırma algoritmalarını kullanarak diyabet mellitus tahmini," *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, no. 32, pp. 7-13, 2021.
- [21] F. Hassan and M. E. Shaheen, "Predicting diabetes from health-based streaming data using social media, machine learning and stream processing technologies," *International Journal of Engineering Research and Technology*, vol. 13, no. 8, pp. 1957-1967, 2020.

A Research on Determining the Importance Levels of Criteria Effective in Forest Road Network Planning through GIS-Based Methods

Ersin Dursun ^{a,1}

^a Tokat Gaziosmanpaşa University, Almus Vocational School, Tokat, Turkey
ORCID ID: 0000-0003-1672-8103

Abstract

This study investigated the importance levels of criteria effective in forest road network planning using Geographic Information System (GIS)- based Multi- Criteria Evaluation (MCE) method. It is crucial to determine the criteria to be considered in forest road construction and planning for a standardized application nationwide. The research was conducted within the boundaries of the Yaylacık Forest Management Directorate (YFMD) under the Tokat Forest Management. Firstly, the existing road network was identified in the research. After the identification of the existing road network, a GIS database was created. In this study, criteria to be used, in Forest Road Network Planning (terrain slope, aspect, road density, distance to road, land use, distance to main stream) were determined. Each criterion was classified and scored internally. Information from road and road network planning studies and previous works were utilized in determining the criteria to be used in Forest Road Network Planning. Five different degrees and suitability values are defined for the determined criteria. In this context, it was created to reach 5 fundamental road network planning functions to determine their positional statuses as Absence (Ab), Very Suitable Areas for road planning (VS), Suitable Areas for road planning (S), Less Suitable Areas for road planning (LS), and Very Less Suitable Areas for road planning (VLS). As a result, Terrain Slope and Road Density were determined as the most effective criteria in Road Network Planning, while Distance to Main Stream was identified as the least effective criterion. As a result of the study, a flow chart was created to determine the criteria and impact values that are effective in forest road network planning in order to ensure integrity and convenience in application throughout the country.

Keywords: “Forest Road Network, Geographic Information System, Multi-Criteria Evaluation, Yaylacık Forest Management Directorate.”

1. Giriş

Orman yol ağları ve yol sistemi orman yollarının birleşmesi ile oluşmaktadır. Ormanlardan sağlanacak ürünleri belirlenen amaçlar doğrultusunda devamlı taşımaya ve bütün ormancılıkla ilgili faaliyetlerini gerçekleştirmeye olanak sağlayan bağlantı yolları, yamaç yolları ve dere yolları gibi birbirlerine bağlı birçok tali ve ana yollarının tümü orman yol ağı olarak tanımlanmaktadır [1]. Diğer bir tanımda ise orman yol ağları ormanlarımıza idari ve teknik bütün işlerin götürülebilmesini, ayrıca ormanlardan üretilen odun hammaddelerini bölme içerisinde tüketildiği yerlere taşınması için ormanda ağa benzer şekilde oluşan bütünlük olarak tanımlanmaktadır [2]. Ormanlarımızın düzenli bir şekilde işletilmesi için belirlenen amaçlara uygun yoğunluk ve standartlarda planlanmış yol ağı ile donatılmış olması gerekmektedir [3]. Ormanlarımızın yeterli sıklık ve uzunlukta olan yol ağı ile işletmeye açılmış olması ormanlardan elde edilen ürünlerin en az masraf ile kesildiği yerlerden yol kenarlarına ve buralardan ana ve son depolara getirilmesini sağlayacaktır.

Orman yol ağı planları, ormanların sürdürülebilir ve düzenli bir şekilde işletilmesini sağlamak amacıyla ekim, dikim ve bakım gibi çeşitli ormancılık faaliyetlerinin usul ve tekniğine uygun bir şekilde zamanında gerçekleştirilmesini hedefler. Bu doğrultuda, orman içerisindeki tüm meşcerelere erişimi sağlamak için orman yol ağı planlarının düzenlenmesine ilişkin yönetmelik, kapsam ve amacı belirtmektedir. Aynı yönetmelikte orman yol ağı planlarının tanımı, ormanlardan temin edilebilecek her türlü ürünün belirlenen hedeflere uygun ve sürekli bir şekilde taşınmasını ve her türlü ormancılık faaliyetinin gerçekleştirilmesini sağlamak amacıyla yamaç yolları, vadi yolları, sürütme izleri ve irtibat yolları gibi birbirlerine bağlanmış pek çok tali ve ana yolun genel projelerinin oluşturulmasıdır [1]. Ormanlarımızın işletmeye açılması ve ekonomimiz ile bütünleştirilmesi yönünden orman yol ağları uzun vadede alternatifi olmayan tek çözüm olarak görülmektedir [4,5].

¹ Corresponding Author
E-mail Address: ersin.dursun@gop.edu.tr

Ormanlarımızın işletilmesine olanak tanıyan ve araçların yıl boyunca taşımacılık yapabilmesi için orman içinde ve dışında bağlantı sağlayan tek şeritli yollar orman yolları olarak adlandırılmaktadır [6]. Geçki etüdü ise orman yollarının planlanmasında yolların nereden geçeceği belirlenmesi için yapılan çalışmalar olarak tanımlanmaktadır. Buna bağlı olarak geçki etüdü sonucu eş yükselti eğrili haritada yolun nereden geçeceğini belirleyen çizgi orman yol güzergahı (orman yol geçkisi) olarak tanımlanmaktadır [6]. Bu tanım ışığında orman yol geçkilerinin belirlenmesinde dikkat edilmesi gereken teknik, planlama ve yapım ile ilgili üç temel esasın olduğu bilinmektedir. Uygulamada orman yol ağı planlarının orman bölge müdürlüklerince düzenlendiği ayrıca gerekli hallerde bölge müdürlüklerinden izin alınmak koşuluyla işletme müdürlüklerince düzenlendiği bilinmektedir. Planların düzenlenmesinden önce ormanda daha önce yapılmış olan yolların ormancılık ile ilgili hizmetlerin yapılmasına elverişli olup olmadığı bilinmesi, yer, eğim, güzergâh, genişlik, laseler ve kurplar bakımından uygunluğunun araştırılması gerekmektedir. Böylece yolların güzergah, yer ve eğim açısından uygunluğu araştırılarak büyük onarımla bile düzelme ihtimali olmadığı anlaşılan yolların yol ağı planı dışına çıkarılması sağlanır. Araştırma sonucunda uygun olan yolların ise paftalara işlenmesi sağlanır.

Plan ünitesi terimi, orman işletme şefliği sınırları içinde bulunan şeflik alanını veya dere sistemini kapsayan su toplama havzasını ifade etmektedir. Orman işletme şeflik alanları ile tali ve ana derelerden oluşan ana su toplama havzalarını tam olarak ulaşım açacak biçimde orman yol ağı planlarının düzenlenmesi gerekmektedir. Orman yol ağı planları havzalar veya şeflik bazında düzenlenen çalışma ünitelerinin birleştirilmesi ve koordinasyonu ile meydana getirilmektedir. Plan ünitelerinde yukarıdan aşağıya doğru taşımının yapılması esas alınmaktadır. Ancak taşıma yönü bazı durumlarda; fabrikaların bulunduğu yerler, pazar merkezleri, karayolları, demiryolu istasyonları ve bölmeden çıkarmanın mekanizasyon şeklinde yapılabileceği yerler ele alınarak değiştirilebilmektedir. Kara taşıtları ile güvenilir olarak iniş aşağı taşımının yapılabilmesi için yol eğimlerinin normal eğim oranı olarak kabul edilen %9 u aşmaması gerekmektedir. Fakat genel kabul gören bu eğim oranının sağlanmasından ötürü çok yüksek maliyetler ve zor arazi şartları gibi zorluklar ile karşılaşıldığında nadir ve kısa mesafelerle sınırlı kalmak şartı ile yol eğimlerinin %12'ye kadar çıkarılmasına izin verilmektedir. Taşıma yönünde zorunlu haller dışında aksi eğimlere izin verilmemektedir. Ülkemizde orman yol şebeke çalışmalarının 1979 yılında genel hatları ile tamamlanmış olduğu, bu kapsamda ülkemizde planlı orman yol uzunluğunun 201810 km olduğu, ülkemiz için genel orman yol yoğunluğunun 9,99 m/ha olarak tespit edildiği bilinmektedir. Günümüzde 292 sayılı tebliğde belirtilen esaslar doğrultusunda orman yollarının planlaması ve inşaat işlerinin yürütülmesi yapılmaktadır. Son zamanlarda ortalama olarak yıllık 1000 km yeni orman yolu inşaatının yapılacağı ve standartları düşük 1000 km orman yolunda büyük onarıma konu edileceği böylece hedeflenen miktarlarda orman yolu yapıldığında yol yoğunluğunun 20 m/ha olacağı öngörülmüştür [7].

Ulusal ve uluslar arası literatür incelendiğinde Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) tabanlı, Çok Kriterli Değerlendirme (ÇKD) yönteminden faydalanılarak yapılan ormancılık ile ilgili pek çok bilimsel çalışma olduğu görülmektedir. Orman yol planlamasında önemli olan ekonomik, teknik ve çevresel faktörler ele alınarak yol ağı planlamada etkili olan kriterler 'orman yol ağı planlama üzerine delphi ve konumsal çoklu kriter değerlendirmelerini birleştirerek yapılan uzman temelli bir yaklaşım' adlı çalışmada belirlenmiştir [8]. Çalışma kapsamında önemli kriterlerin seçilebilmesi için delphi metodunun kullanılmış olduğu, sonrasında belirlenen kriterlerin bağlı önemliliklerinin elde edilmesi için analitik hiyerarşi sürecinin kullanılmış olduğu, sonunda ise yol ağı alternatifleri üzerine en düşük etkiyi tanımlamak amacıyla corafi bilgi sistemi içerisinde konumsal çok kriterli değerlendirmenin yapılmış olduğu, böylece çalışma alanındaki en önemli kriterlerin su kaynağına uzaklık, yer eğimi, yer kayması yatkinlığı, fay hattına uzaklık, erozyon yatkinlığı, jeoloji ve toprak yapısı olduğu tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda belirlenen kriterlerin ağırlıkları hesaplanarak nihai olmayan harita katmanlarıyla birleştirilmiş ve yol planlaması için uygunluk haritası elde edilmiştir. 'Orman İçi ve Kenarı Yol Ağlarında Ekolojik Sanat Yapıları Üzerine Araştırmalar' adlı çalışmada ÇKD yöntemi ile temin edilen değişkenler arasında bulunan etki dereceleri uzman görüşlü, deneysel ve literatürden elde edilen veriler kullanılarak matematiksel anlatımlara çevrilmiştir [9]. Bu türde verilerin CBS ortamına uyarlanması sonucu CBS tabanlı ÇKD yöntemleri ile bütünleştirilerek konumsal verilerin kurgusal ve görsel çıktılarını en doğru tahminler ile anlaşılır ve şeffaf hale getirilmiştir. Çalışma ile ele alınan karacanın yaşamını devam ettirebileceği uygun yaşam alanları CBS tabanlı ÇKD yöntemiyle oluşturulan yaşam alanı uygunluk modeli tasarlanmıştır.

Bilimsel araştırma çalışmalarının her alanında gerekli olan modeller, çözülmesi hedeflenen problemlere yönelik gerçekçi sonuçlar üretmektedir. Bu sonuçlara ulaşmak için, modeli oluşturan bağımlı etkenler üzerinde doğrudan etkili olan değişken veya değişkenlerin örnekler üzerinde ölçülmesiyle öngörülebilir sonuçlar elde edilir. Bu nedenle, birçok karar değişkeninin bir araya getirilmesiyle ortaya çıkan modellerin doğruluğu ve uygulanabilirliği test edilmelidir [10]. Yapılan bir çalışmada mera ıslahı için yer seçiminin çok kriterli analizi yapılmış ve çok kriterli karar verme yöntemi ile bir ilin genel, ilçe ve köy bazında mera kapasiteleri ve mera yönetiminin uygulanması gereken yerler belirlenmiştir [11]. Diğer bir çalışmada ise çok kriterli yöntemler kullanılmış ve orman yangını duyarlılığı analiz edilerek yangının çevresel, topoğrafik, iklimsel açıdan ormanın yapısal parametrelerine ne şekilde rol oynadığı araştırılmış ve belirleyici rol oynadığı sonucuna varılmıştır [12]. Çok kriterli karar verme yöntemleri ormancılık faaliyetlerinden olan erozyon, ağaçlandırma, fidan üretimi, mera ıslahı gibi çalışmalarda kullanılarak il ölçeğinde analiz edilerek en iyi ve en kötü performans gösteren iller belirlenmiştir [13]. Ormancılık dışında tarım sektöründe de tarımsal kapasiteyi belirlemek amacıyla coğrafi bilgi sistemleri kullanılarak tarım açısından uygunluk analizleri yapılmıştır [14]. CBS teknikleri kullanılarak, yol güzergahı ve yol ağı konumsal uygunluk alanları konularında diğer pekçok farklı bilim dalına ait bilimsel çalışmalarda olduğu gibi simülasyon modelleri etkin olarak kullanılmaktadır. Paket yazılımlar ile pek çok karar değişkeni birlikte değerlendirilmesi ve hassas konumsal verilerin analizleri kolaylıkla gerçekleştirilmektedir. CBS tabanlı çalışan araştırmacılara yönelik tasarlanan bu yazılımlar MapCalc, IDRISI, ERDAS, ENVI, ArcGIS gibi bütünlük olan paket yazılımlardır. Bu tür yazılımlarda konumsal analizler gibi eklentiler standart olarak bulunmaktadır [15]. Birçok CBS yazılımı,

araştırmacıların kişisel olarak geliştirebileceği model tasarımlarına izin verir. Bu yazılımlar, özünde aynı mantıksal düzenle çalışırlar ve raster veya vektör tabanlı olacak şekilde uygunluk modellerinin oluşturulmasına imkan tanır.

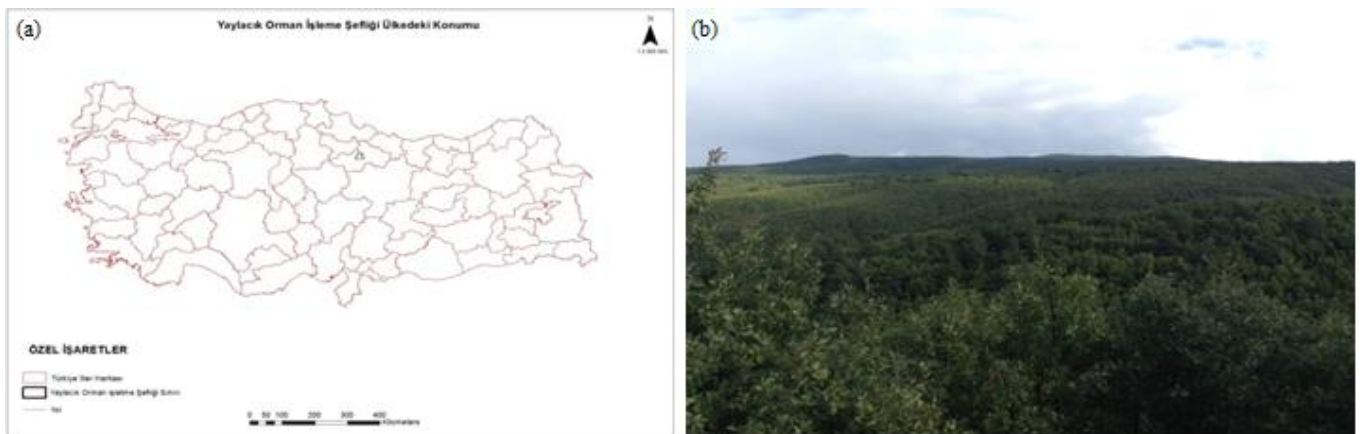
Benzer düşünce üzerinden gerçekleştirilen konumsal analizlerin gerçekleştirilmesinde kestirme ve komşuluk ilişkileri gibi yöntemlerin kullanılması ile basit analizler yapılarak zaman ve maliyet açısından ekonomik olan modeller yapılabilmektedir [16]. Konumsal verilerin kullanılabilmesi için değişik ölçütlere ve değerlere ait karar değişkenleri matematiksel ifadeler ile ilişkilendirilebilmektedir. Son zamanlarda en iyi ve doğru sonuçların elde edilmesinde CBS tabanlı ÇKD'ler kullanılmaktadır. Kullanılan bu değerlendirmeler stratejik karar vermede, yoğunluk analizlerinde ve karar almada kullanışlı yöntem haline gelmekte ve karar destek sistemlerinin değerini arttırmaktadır [17]. İleri seviyede uygunluk gösteren modellerin oluşturulmasında ise süreç modelleri, Boolean Operatörleri, indeks bindirimi ve ileri seviye matematiksel yöntemler kullanılmaktadır [18, 19, 20]. ÇKD yöntemi CBS tabanlı çalışmalar için karar alma konusunda oldukça faydalıdır [21, 22]. CBS tabanlı ÇKD sayesinde değişik oran ve tipte değerlendirme kriterini içeren ve farklı veri tiplerini kapsayan modellerin çözümü gerçekleştirilmektedir [21]. Bu yöntemde alternatiflerin belirlenmesi araştırmacılar ve paydaşlar tarafından yapılmakta olup alternatiflerin önem veya öncelik durumları ile ilgili fonksiyonları benzer olmayan tercihler ile karakterize etmek ana kriterdir [17]. CBS Tabanlı ÇKD veya Konumsal Tabanlı ÇKD mantıksal yaklaşım içinde konumsal verilerde benzersiz karar analizlerinin gerçekleştirilmesi ile ortaya çıkmıştır [17, 21].

CBS karar vermede ÇKD sistemleri ile entegre olduğu zaman daha zengin bir içerik ile ortaya çeşitli bakış açıları sunmakta olup karar değişkenleri arasındaki ifadeleri güçlendirerek etkin olarak kullanımını sağlamaktadır [15, 17, 23]. CBS ortamında konumsal analizlerin yapılabilmesi için değişkenlerin tek tip haline getirilmesi için derecelendirilmesi ve bu şekilde değerlendirilmelerin yapılması gerekmektedir. Kısıtların alt ve üst sınırları belirlenerek karar değişkenlerine ait değerler tek tip haline getirilerek en sık kullanılan derecelendirme yönteminde standartlaştırılmaktadır. Verilerin standartlaştırılmasında birçok eşitlik formülü bulunmaktadır. Doğrusal eşitlik formülü en çok tercih edilenidir [15, 24]. Doğrusal eşitlik formülünde değişkenlere ait ağırlıklı değerler belirlemeden önce değişkenler standartlaştırılmakta ve sonrasında değişkenlere ait ağırlık değerlerinin bulunmasında uygulanacak metod belirlenmektedir. CBS tabanlı ÇKD çalışmalarında değişkenlere ait etki ağırlık değerini bulmada en yaygın olarak kullanılan yöntemler oranlama, sıralama ve ikili karşılaştırmalardır [24]. Çalışma kapsamında sıralama yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem uygulamada sıklıkla tercih edilen yöntem olup karşılıklı sayı çiftleri arasındaki oransal ilişkiyle, toplamları arasındaki oransal ilişkiyle veya üstsül ilişki kurularak tespit edilmektedir. Oranlama yönteminde ise bulgulardan elde edilmiş değişkenin ağırlığı 0-100 arasında hesaplanan sayılar toplamına oranlanması ile belirlenen yöntemdir. İkili karşılaştırmalar ise ÇKD işlemlerinde Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) gibi geliştirilmiş çeşitli yöntemler kullanılarak değişkenler arasındaki ağırlıkları yada görece olarak önem seviyesini belirlemede kullanılan yöntemdir [18].

Bu çalışmada, orman yol ağı planlamasında etkili olan kriterlerin önem derecesine göre neler olduğu CBS tabanlı, ÇKD yöntemi kullanılarak araştırılmıştır. Ülke genelinde standart bir uygulama için orman yolu yapımı ve planlamasında dikkate alınması gereken kriterlerin belirlenmesi son derece önemlidir. Çalışmanın amacı; orman yol ağı planlamada önemli olan kriterleri etki derecelerine göre belirlemek ve ülke genelinde standart bir uygulamanın geliştirilmesini sağlamaktır.

2. Materyal ve Metod

Araştırma Tokat Orman İşletme Müdürlüğü, Yaylacık Orman İşletme Şefliği (YOİŞ) sınırları içerisinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 1). Araştırmada öncelikli olarak mevcut yol ağı belirlenmiştir. Mevcut yol ağı belirlendikten sonra CBS veri tabanı oluşturulmuştur. Çalışma ile bakı, arazi eğimi, yola uzaklık, yol yoğunluğu, ana dereye uzaklık, arazi kullanımı gibi belirlenen kriterler aralarında sınıflandırılarak puanlandırılmıştır. Çalışma sonucunda orman yol ağı planlamada kullanılacak kriterler etki değerleri ile birlikte belirlenmiştir. Her bir kritere ait etkili ağırlık değerlerini belirlemede sıralama yöntemi kullanılmıştır.



Şekil 1. (a) Çalışma alanının konumu; (b) Çalışma alanının genel görünüşünden bir kesit

Çalışma alanında hali hazırda bulunan orman yolları, köy yolları, kara yolları ve bu yolların birbirleri ile yaptığı bağlantı yolları sonucu oluşan mevcut orman yol ağı çalışma materyali olarak belirlenmiştir. Çalışma alanı toplam 35808,5 hektar (ha) büyüklüğündedir. Çalışma alanının üretim olarak 4 işletme sınıfına ayrılmış olduğu, amenajman planına göre ise 8 adet işletme sınıfı yer almaktadır (Tablo 1).

Tablo 1. Çalışma alanındaki ormanlarının işletme sınıfları.

İşletme Sınıfları	Ana fonksiyonlar	Genel fonksiyonlar	İşletme amaçları	İdare süreleri
A.Sarıçam	Ekonomik	Orman ürünleri üretimi	Odun üretimi	100
B.Sarıçam (Ağaçlandırma)	Ekonomik	Orman ürünleri üretimi	Odun üretimi	120
C.Kayın	Ekonomik	Orman ürünleri üretimi	Odun üretimi	100
D.Meşe	Ekonomik	Orman ürünleri üretimi	Odun üretimi	80
E.Sarıçam	Ekolojik	Erozyon önleme	Toprağı koruma	200
F.Meşe	Ekolojik	Erozyon önleme	Toprağı koruma	220
G.Sarıçam	Sosyal ve kültürel	Hidrolojik	Kullanma suyunu koruma	200
H.Sarıçam	Sosyal ve kültürel	Ekoturizm ve rekreasyon	Mesire yerleri	200

Çalışma alanının 1992 yılında yapılmış olan orman yolları şebeke planı bulunmaktadır. Çalışma alanı için yol yoğunluğunun 15,6 m/ha olduğu planda yer almıştır. Bu plana göre çalışma alanında 322 + 4 km orman yolunun, 135 + 0 km köy yolunun ve 3 + 0 km kara yolunun bulunması gerektiği ortaya konmuştur.

2.1. CBS Veri Tabanının Oluşturulması

Çalışma alanının topografik yapısının ve Sayısal Arazi Modelinin (SAM) oluşturulması için alanı kapsayan 1/25000 ölçekli eş yükselti eğrilerinin yer aldığı haritalardan yararlanılmıştır. ArcGIS programının 3D Analyst modülü kullanılarak sayısal arazi modelinden çalışma alanına ait eğim ve baki haritaları elde edilmiştir. Çalışma kapsamında sayısal orman amenajman haritaları kullanılmıştır. Sayısal orman amenajman haritaları yardımı ile çalışma alanındaki mevcut konumsal dağılımlar belirlenerek, veri tabanına değişkenler olarak eklenmiştir. Çalışma alanı alan kullanım durumlarının belirlenmesi için orman amenajman planında yer alan arazi sınıfları, arazi sınıflarına ait tanımlamaların bulunduğu sayısal vektör verilerden yararlanılmıştır. Çalışma alanında mevcut orman yol ağı ve orman yollarının hesaplanabilen özelliklerinin kendi içerisinde ve sayısal orman amenajman haritaları üzerinden elde edilen çeşitli özellikleri ile beraber kullanılarak güncel verilerin oluşturulmasına ilişkin yöntemler belirtilmiştir.

Çalışma alanı için gerçek (orman dışı ve içi yol uzunluğu / ormanlık alan), genel (toplam yol uzunluğu / bütün alan) ve itibari (orman içi yol uzunluğu / ormanlık alan) olmak üzere üç çeşit yol yoğunluğu belirlenmiştir [6]. Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde süreli ve süresiz yayınlar, bilimsel toplantılarda sunulan bildiriler, tezler, konu ile ilgili doğrudan ve dolaylı olarak alakalı ders materyalleri ve iletişim kurularak sağlanan bilgilerden yararlanılmıştır. Çalışma alanına ait veri ve bilgi temini için çalışma alanına ait orman amenajman planı ve amenajman planında yer alan haritalarından yararlanılmıştır. Çalışma kapsamında çalışma alanını kapsayan topoğrafik haritalar, kullanıma açık Google Earth uydu görüntüleri ve eşyükselti eğrili sayısal haritalarda kullanılmıştır. Böylece çalışma alanının konumsal yapısı ortaya konarak, çalışma alanının aktüel orman yol ağı durumu ve sayısal yükseklik modelinin ortaya konması için kullanılmıştır.

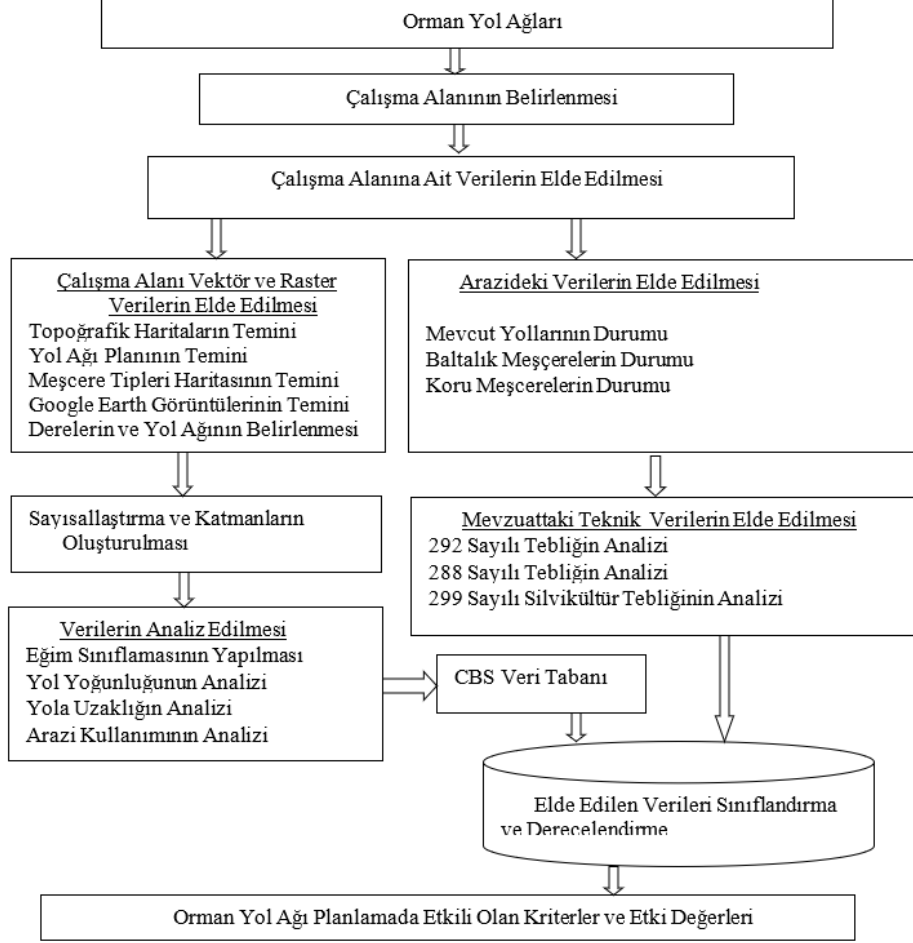
Çalışma kapsamında raster sayısal haritaların vektör veri yapısına dönüştürülmesi, konumsal ve sayısal analizlerin yapılabilmesi için ArcGIS 10.0 ve Netcad 5.2 sürümlü CBS tabanlı yazılımlar kullanılmıştır. Çalışma alanına ait coğrafik ve öznitelik verilerinin elde edilip saklanması için Küresel Konum Belirleme Cihazı (GPS) kullanılmış olup GPS'e çalışmada kullanılacak sayısal haritaların yüklenebilmesi amacıyla herkesin kullanımına açık olan Global Mapper programından yararlanılmıştır. Çalışma alanındaki orman yolları üzerinde gözlem ve ölçüm yolu ile elde edilen verilerin analiz edilerek değerlendirmeye uygun hale getirilmesinde MS Office programlarından yararlanılmıştır. Verilerin analizinde çeşitli yazılımlar (Microsoft EXCEL, SPSS 17, ArcGIS 10.0, AutoCAD Civil 3D, ERDAS 9.0) kullanılmıştır.

Araştırma alanının kadastral sınırları ArcGIS ortamına aktarılmıştır. Çalışma alanını gösterir fonksiyon haritası orman fonksiyonlarının alansal dağılımlarını hesaplayabilmek için şeflikten temin edilmiştir. Yaylacık Orman İşletme Şefliğine ait yol şebeke planı kullanılarak mevcut orman yollarının kontrolü sağlanarak google earth görüntüsünün yardımı ile sayısallaştırılmıştır. Çalışma alanında meşcere kapalılığının yüksek olduğu yerlerde uydu görüntüsünün yanı sıra GPS yardımı ile yolların sayısal ortama aktarılması sağlanmıştır. Yol şebeke planında gözükmeyen yollar için koordinatlar alınarak haritalara işlenmesi sağlanmış ve diğer yollar ile birlikte değerlendirilmiştir. Çalışma alanını gösterir topoğrafik haritalara ait geometrik düzeltmeler GPS ile toplanan noktalara göre ArcGIS yazılımı ile yapılmıştır. Raster tabanlı verilerle aynı olacak şekilde koordinat sistemleri standart hale getirilmiştir. Çalışma alanının topoğrafik bilgilerini için RASTER SYM verisi kullanılarak ArcGIS 10.0 konumsal analiz eklentisinde bulunan özellikler kullanılarak baki, yükselti ve eğim hesapları yapılmıştır.

Yol ağı belirlenmesinde etkili olan kriterlerin oluşturulması aşamasında amaç fonksiyonlarında kullanmak için altı karar değişkeni değerlendirilmiş olup karar değişkenlerinin her biri için ayrı tablolar oluşturulmuştur. Oluşturulan tablolarda

değişkenlere ait kriterlerin kodları, uygunluk derecelendirmeleri (UD), maksimum ve minimum değerleri ile yüzde olarak değerleri gösteren sütunlar kullanılmıştır. Tablolarda değişkenlerin kriterlere olan etki ağırlıklarının belirlenmesinde kullanılan ortalama değerlerinede yer verilmiştir.

Bu çalışmada orman yol ağı planlamada kullanılacak kriterler ve kriterlerin önem dereceleri belirlenmiştir. Kriterler kendi içerisinde sınıflandırılarak puanlandırılmış ve kriterlerin yol ağı planlamadaki önem düzeyleri tespit edilmiştir. Bu çalışma ile orman yol ağı planlamasında etkili olan kriterlerin önem derecesine göre neler olduğunun CBS tabanlı, ÇKD yöntemi kullanılarak belirlenmesini içermektedir. Bu kapsamda gerçekleştirilen çalışmaların akış şeması Şekil 2’de sunulmuştur.



Şekil 2. Orman yol ağı planlamasında etkili olan kriterlerin ve etki değerlerinin belirlenmesi akış şeması.

2.2. Yol Ağı Planlama Kriterlerinin Derecelendirilmesi ve Ağırlıklandırılması

Yol ağı planlamada önemli olan kriterler işletme şefliği sınırı içerisinde bulunan orman yol ağı dikkate alınarak belirlenmiştir. Çalışma kapsamında karar almada karşılaşılabilecek sorunların ortadan kaldırılması için derecelendirme yöntemi kullanılmıştır. Belirlenen yol ağı planlama kriterleri için beş farklı derece ve uygunluk değeri belirlenmiştir.

Yol ağı planlama kriterlerinin belirlenmesinde ve derecelendirilmesinde arazi çalışmaları ile birlikte uzman kişilerin katılımı ve literatüre dayalı bilgilerin kullanımı için geliştirilmiş yaklaşım sergilenmiştir. Çalışmada karar değişkenlerinin derecelendirme usulüne dayanan yöntem ile yol planlamalarına ait literatür çalışmaları ve konumsal verilerin hassasiyeti dikkate alınmıştır [10].

Çalışma kapsamında yol ağı planlama kriterleri olarak belirlenen arazi eğimi 8 sınıfa, arazi kullanımı 8 sınıfa, yola uzaklık 10 sınıfa, yol yoğunluğu 10 sınıfa, bakı 9 sınıfa ve ana dereye uzaklık 3 sınıfa ayrılacak şekilde değerlendirilmiştir [25]. Değerlendirilen bu altı kriterin önem düzeyinin belirlenmesi amacı ile sıralama yöntemine ait ortalama değerler tespit edilmiştir. Sıralama yöntemi en çok kullanılan ağırlık belirleme yöntemi olup bu yöntemde toplamlar arasındaki oransal ilişki, karşılıklı sayı çiftleri arası oransal ilişki ve üstsel ilişki kurularak ağırlıklar hesap edilmektedir [19]. Çalışma kapsamında amenajman planlarına ait vektör tabanlı veriler sınıflara ayrılarak çalışma alanının arazi kullanımı 8 sınıfta belirlenmiştir. Belirlenen arazi kullanım sınıflarına yol planlama önceliğine göre uygunluk derecelendirmeleri yapılarak arazi kullanım sınıflarının ağırlık değeri Tablo 2 kullanılarak yüzdeliğe çevrilmiştir.

Tablo 2. Çalışma alanı arazi kullanım sınıfları.

Çalışma alanı arazi kullanım sınıfları	Aralıklar
1	Orman
2	Bozuk orman
3	Zıraat
4	Taşlık
5	Koruya dönüştürme
6	İskan ve diğer yapılaşmalar
7	Su
8	Orman toprağı (OT)

Çalışma kapsamında 1/25000 ölçekli topoğrafik haritaların eşyüksele eğrileri sayısallaştırılarak çalışma alanının sayısal arazi modeli (SAM) oluşturulmuştur. Bu kapsamda 8 eğim sınıfı değerlendirmeye alınmıştır. Tablo 3 kullanılarak eğim sınıflarına ait uygunluk derecelendirmeleri (UD) ve UD'ye ait değerler yüzdeliğe çevrilmiştir.

Tablo 3. Çalışma alanı arazi eğim sınıfları.

Çalışma alanı arazi eğim sınıfları	Aralıklar	(Yüzde, %)
1	0	- 10
2	10,0001	- 20
3	20,0001	- 30
4	30,0001	- 40
5	40,0001	- 50
6	50,0001	- 60
7	60,0001	- 70
8	70<	

Çalışma kapsamında ArcGIS konumsal analiz (Spatial Analyst) eklentisi içerisinde yer alan yoğunluk analizi (Density) fonksiyonu kullanılarak çalışma alanı içerisinde bulunan yerlerin yol yoğunluğu sınıfları oluşturulmuştur. Raster hücrelerinin komşuluk ilişkileri öklid bağıntısı yardımı ile değerlendirilmiştir. Yol yoğunluğu araştırma alanı için km ve hektar (ha) cinsinden ortaya konulmuştur [26]. Çalışma alanı için 5 m/ha aralıklar ile 10 farklı yol yoğunlu sınıfı belirlenmiştir. Tablo 4 kullanılarak yol ağı planlamada önemli ölçüde ele alınması gereken yol yoğunluğu sınıflarına ait uygunluk derecelendirmeleri ve UD'ye ait değerler yüzdeliğe çevrilmiştir.

Tablo 4. Çalışma alanı yol yoğunluğu sınıfları.

Çalışma alanı yol yoğunluğu sınıfları	Aralıklar (m/ha)
1	0 - 5
2	5,0001 - 10
3	10,0001 - 15
4	15,0001 - 20
5	20,0001 - 25
6	25,0001 - 30
7	30,0001 - 35
8	35,0001 - 40
9	40,0001 - 45
10	45<

Çalışma kapsamında yola uzaklık kriteri için öklid geometrisi kullanılarak araştırma alanı sınırlarını kapsayacak şekilde uzaklık ve yakınlık ilişkilerine ait 10 m x 10 m piksel boyutlu raster verileri oluşturulmuştur. Yola uzaklık kriterinin belirlenmesinde kullanılan bu yöntem tüm hücrelerin belirlenen yol güzergahı merkezinden başlayarak orta noktasına göre kenar doğruları yardımı ile hipotenüslerinin hesaplanmasına dayanmaktadır. Tablo 5 kullanılarak yol ağı planlamada önemli ölçüde ele alınması gereken yola uzaklık sınıflarına ait uygunluk derecelendirmeleri ve UD'ye ait değerler yüzdeliğe çevrilmiştir. Çalışma kapsamında yola uzaklık sınıfları sıfır ile bin metre arasında ve üzerindeki uzaklıklar arasında 100'er metre aralıklarla 10 yola uzaklık sınıfına ayrılmıştır.

Tablo 5. Çalışma alanı yola uzaklık sınıfları.

Çalışma alanı yola uzaklık sınıfları	Aralıklar (m)
1	0 - 100
2	100,0001 - 200
3	200,0001 - 300
4	300,0001 - 400
5	400,0001 - 500
6	500,0001 - 600
7	600,0001 - 700
8	700,0001 - 800
9	800,0001 - 900
10	900<

Çalışma kapsamında ana dereye uzaklık hesaplamalarında öklid geometrisi kullanılarak 10 m x 10 m piksel boyutlu raster verileri oluşturulmuştur. Tablo 6 kullanılarak yol ağı planlamada önemli ölçüde ele alınması gereken ana dereye uzaklık sınıflarına ait uygunluk derecelendirmeleri ve UD'ye ait değerler yüzdeliğe çevrilmiştir. Ana dereye uzaklık sınıfları sıfır ile elli metre ve üzeri uzaklıklar arasında yirmi beşer metre mesafelerde üç sınıfa ayrılmıştır.

Tablo 6. Çalışma alanı ana dereye uzaklık sınıfları.

Ana dereye uzaklık sınıfları	Aralıklar (m)
1	0 - 25
2	25 - 50
3	50 <

Çalışma kapsamında SAM ile araştırma alanına ait bakı sınıfları tespit edilmiştir. Bakı için 9 farklı sınıf kullanılmıştır. Tablo 7 kullanılarak yol ağı planlamada önemli ölçüde ele alınması gereken bakı sınıflarına ait uygunluk derecelendirmeleri ve UD'ye ait değerler yüzdeliğe çevrilmiştir.

Tablo 7. Çalışma alanı bakı sınıfları.

Çalışma alanı bakı sınıfları	Aralıklar
1	-Kuzey
2	-Kuzeybatı
3	-Kuzeydoğu
4	-Güney
5	-Güneybatı
6	-Güneydoğu
7	-Batı
8	-Doğu
9	-Düz

Yol ağı planlamada etkili olan kriterlere ait fonksiyonların karar değişkenlerine ait oluşturulan raster gridlere önceden atanmış kodlar yardımıyla benzerlik karşılaştırmaları yapılarak, UD'lere ait yüzde değerleri "txt" metin formatlı metaverilerin sınıflandırılması yöntemi kullanılarak raster verilere tanımlanmıştır. Bu işlem için ArcGIS 10.0 yazılımında yer alan konumsal eklenti modülü altında bulunan önceden tanımlı sınıflandırma yöntemi bütün karar değişkenine ait kriterlere uygulanarak veriler hazırlanmıştır.

Çalışma kapsamında karar değişkenlerine ait her bir sınıf için araştırmacının kısıtlanamayacağı şekilde esneklik sağlanmıştır. Ayrıca literatürde yer alan yol ağları çalışmalarının birleştirilmesi için minimum ve maksimum şeklinde derecelendirme yapılmıştır. Daha sonra minimum ve maksimum uygunluk derecelerinin aritmetik ortalamaları alınarak ortalama UD değerleri hesaplanmıştır. Çalışmada mutlak yokluk derecesinin kullanılması gereken durumlarda ise uygunluk derecesi için aritmetik ortalama hesabı yapılmamıştır. Karar değişkenlerine ait olan derecelerin ortalamaları için belirlenen karar değişkenlerinin fonksiyonlarının geliştirilmesi sebebiyle şiddet derecesi genelleştirilmiş ve standartlaştırılmıştır.

Çalışma kapsamında sınıflara ayrılan karar değişkenlerine ait kriterler için derecelendirme tablosu oluşturulmuştur (Tablo 8). Bu derecelendirme tablosunda 0 mutlak yokluğu temsil ederken 1 en iyi değeri, 10 ise en kötü değeri temsil etmektedir. Çalışma kapsamında matematiksel olarak ifade edilemeyen sözlü olarak en iyi, iyi, uygun, kötü, en kötü şeklinde belirlenen değerlerin tespit edilmesinde ve CBS tabanlı yol ağı planlama kriterlerinin belirlenmesinde de derecelendirme yöntemi kullanılmıştır. Yol

ağı planlamada etkili olan kriterlere ait sınıfların belirlenmesinde yol ağı planlama çalışmalarına ait bilgilerden ve daha önce yapılmış çalışmalardan yararlanılmıştır. Bu kapsamda yokluk (Yo), yol ağı planlaması için çok uygun yerler (ÇU), yol ağı planlaması için uygun yerler (U), yol ağı planlaması için az uygun yerler (AU) ve yol ağı planlaması için çok az uygun yerler (ÇAU) şeklinde konumsal durumlarının belirlenmesi amacıyla beş temel yol ağı planlama fonksiyonuna ulaşmak için oluşturulmuştur.

Tablo 8. Amaç fonksiyonuna ait değişkenlerin derecelendirmesi için oluşturulan tablo.

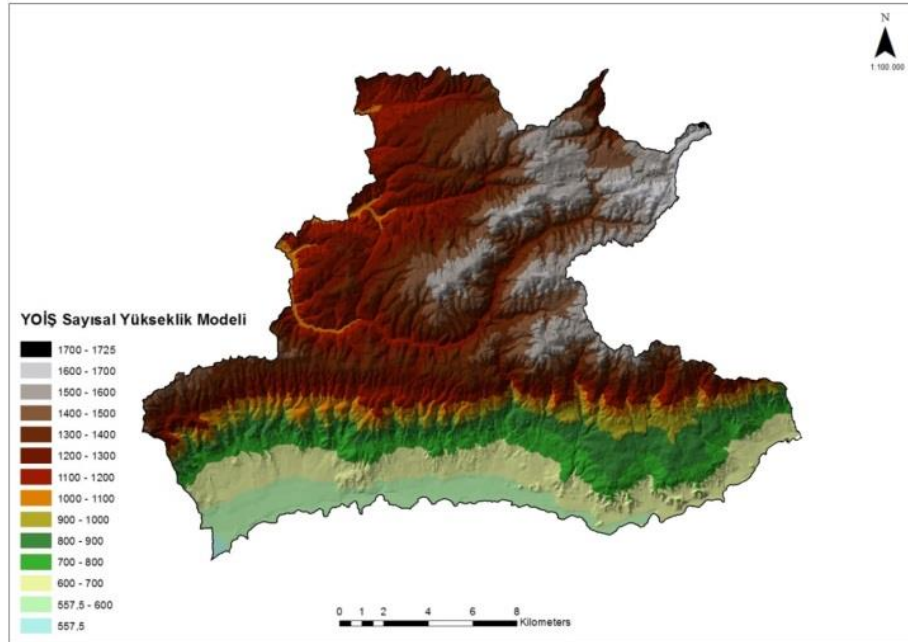
Puanlar	Amaç Fonksiyonları	Yol Ağı Uygunluk Sınıfları	Açıklama
1 - 3	Yol planlaması (YP) için çok uygun yer	Çok uygun	Yol için oldukça uygun kriterlere sahip alan
4 - 6	YP için Uygun yer	Uygun	Yol için makul ölçüde kabul edilebilir alan
7 - 9	YP için az uygun yer	Az uygun	Yol için uygun ancak daha uygun alanlar seçilebilir
10	YP için çok az uygun yer	Çok az uygun	Zorunlu hallerde yol için tercih edilebilir alan
0	Kesinlikle YP'nin yapılamayacağı yer	Yokluk	Kesinlikle yol yapımı için uygun olmayan alan

Çalışma kapsamında amaç fonksiyonları için arazi eğimi, arazi kullanımı, bakı, yol yoğunluğu, ana dereye uzaklık ve yola uzaklık şeklinde belirlenen karar değişkenlerinin alt kriterlerine ait derecelerin önem düzeyleri 0 etkisi olmayan mutlak yokluğu, 1 en yüksek ve 10 en düşük değerler arasında puan vererek her bir karar değişkenine ait UD hesaplaması için hazırlanmıştır. Ayrıca literatürden elde edilen bilgiler doğrultusunda yol ağı planlamada etkili olan kriterler derecelendirilmiştir. Daha sonra uygunluk derecesine ait değerlerin yüzdeliğe (%) dönüşümlerinde kullanılan karar değişkenlerine ait alt kriterler doğrusal regresyon eşitliği tahmin modeli kullanılarak MS EXCEL üzerinden hesaplanmıştır.

3. Bulgular

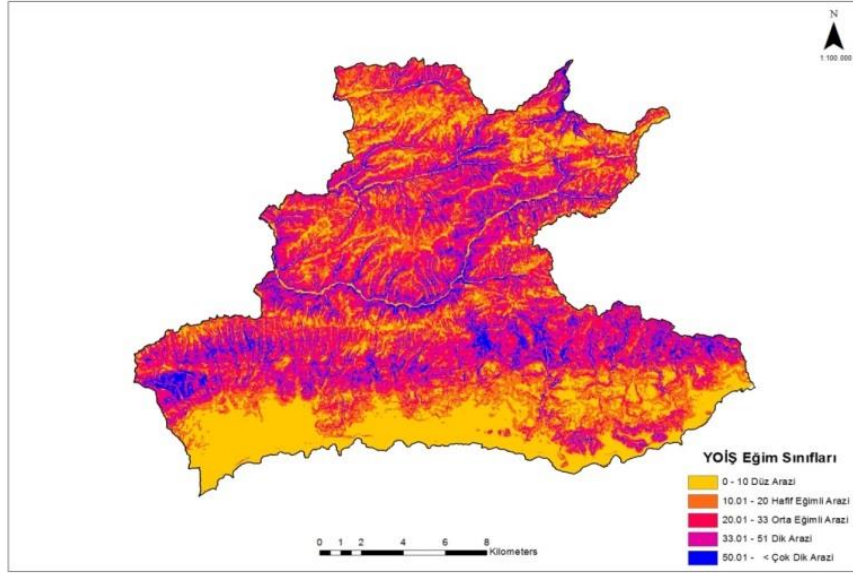
3.1. Araştırma Alanına Ait Bulgular

Çalışma alanına ait sayısal arazi modeli (SAM) 10 metre aralıklı eşyüksekti eğrili sayısal topoğrafik haritalardan yararlanılarak oluşturulmuştur (Şekil 3). Eşyüksekti eğrili sayısal topoğrafik haritalardaki hatalar, CBS programında ayıklanarak ve topolojisi kurularak işlenebilir hale getirilmiştir.

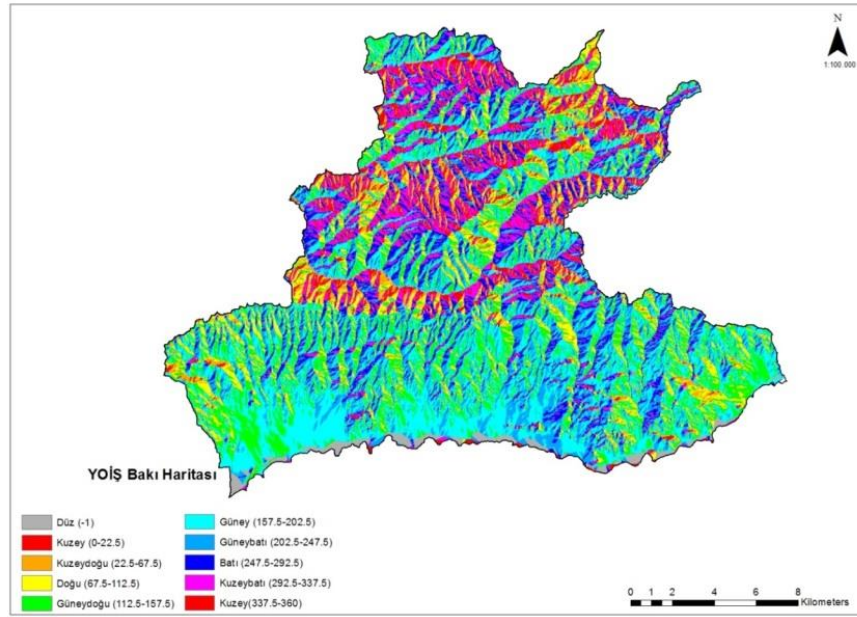


Şekil 3. Çalışma alanını gösterir sayısal arazi modeli.

Çalışma alanı için oluşturulan sayısal arazi modeli CBS ortamında ele alınarak çalışma alanının eğim analizi ve bakı analizi yapılarak eğim sınıfları (Şekil 4) ve bakı sınıfları (Şekil 5) haritaları üretilmiştir.



Şekil 4. Çalışma alanını gösterir eğim sınıfları haritası.



Şekil 5. Çalışma alanını gösterir baki haritası.

Çalışma alanı için oluşturulan eğim ve baki haritalarında gruplandırma yapılarak her bir grubun alan miktarı hektar (ha) ve yüzde (%) olarak tespit edilmiştir. Tablo 9'da çalışma alanına ait eğim gruplarının alansal dağılımı gösterilmiştir. Tablo 10'da ise çalışma alanına ait baki gruplarının alansal dağılımı gösterilmiştir. Çalışma alanı için baki CBS programı ile 9 sınıfa ayrılmıştır.

Tablo 9. Çalışma alanına ait eğim grupları ve dağılımı.

Çalışma alanı eğim grupları	Yüzde oranı (%)	Alan miktarı (ha)
0 – 10 düz	20,3	7269,125
11 – 20 hafif eğimli	25,7	9202,784
21 – 33 orta eğimli	28,4	10169,614
33 – 50 dik	17,5	6105,349
> 50 çok dik	8,1	2900,488
Toplam	100	35808,5

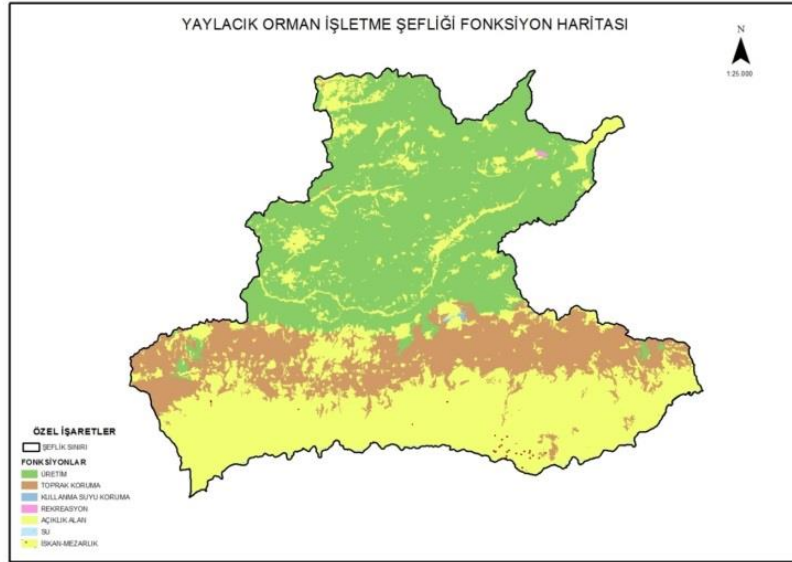
Yol ağı planlamada oldukça önemli olan eğim kriteri değerlendirildiğinde çalışma alanının orman yollarının yapımına uygun olduğu belirlenmiştir. Bu kapsamda çalışma alanının % 46'sının düz ve hafif eğimli arazi olduğu, % 45,9'unun ise orta eğimli ve eğimli arazi olduğu, % 8,1'inin çok dik arazi olduğu belirlenmiştir.

Tablo 10. Çalışma alanına ait bakı grupları ve dağılımı.

Çalışma alanı bakı grupları	Açısı	Yüzey alanı (%)	Yüzey alanı (ha)
-Düz	1	2,05	734,6
-Kuzey	0-22,5	3,14	1127,7
-Kuzeydoğu	22,5-67,5	3,00	1075,5
-Doğu	67,5-112,5	11,74	4202,3
-Güneydoğu	112,5-157,5	21,13	7567,5
-Güney	157,5-202,5	20,00	7161,3
-Güneybatı	202,5-247,5	11,65	4171,3
-Batı	247,5-292,5	9,39	3361,6
-Kuzeybatı	292,5-337,5	14,43	5167,2
-Kuzey	337,5-360	3,46	1239,3

Yol ağı planlamada oldukça önemli olan bakı kriteri değerlendirildiğinde çalışma alanının orman yollarının yapımına uygun olduğu belirlenmiştir. Çalışma alanının %24,03'ünün kuzey bakılarda, %52,78'inin ise güney bakılarda olduğu belirlenmiştir. Orman yolları tebliğinde belirtilen yol ağı planlamasında, orman yollarının mümkün olduğunca güneye bakan yamaçlardan geçirilmesi gerektiği önerilmektedir. Bu nedenle, çalışma alanının orman yolları planlaması için bakı yönünden de uygun olduğu tespit edilmiştir.

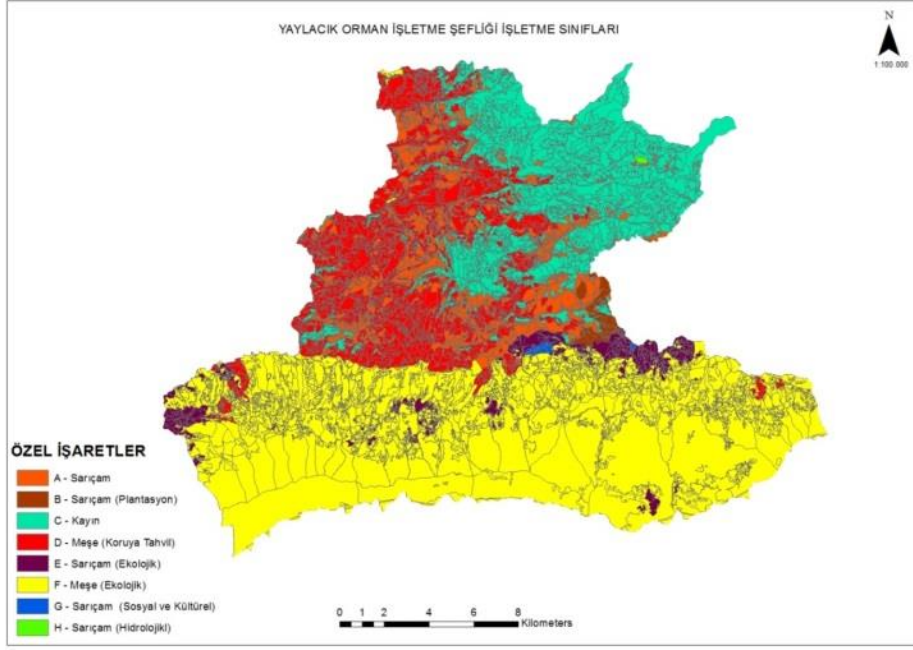
Çalışma alanına ait amenajman haritasının sayısallaştırılması sonucunda ve amenajman planında bölmelere verilen fonksiyonlar kullanılarak fonksiyon haritası oluşturulmuştur (Şekil 6). Çalışma alanının 14249,8 ha. büyüklüğündeki kısmının üretim fonksiyonu, 7069,4 ha. büyüklüğündeki kısmının toprak koruma fonksiyonu, 24,2 ha. büyüklüğündeki kısmının kullanma suyu koruma fonksiyonu, 15,8 ha. büyüklüğündeki kısmının rekreasyon fonksiyonu, 13314,4 ha. büyüklüğündeki kısmının açık alan, 47,9 ha. büyüklüğündeki kısmının su ve 581,5 ha. büyüklüğündeki kısmının mezarlık-iskan fonksiyonu olduğu belirlenmiştir. Çalışma alanının üretim olarak 4 işletme sınıfına ayrılmış olduğu, amenajman planına göre ise 8 adet işletme sınıfı bulunduğu tespit edilmiştir (Şekil 7). Bu sekiz işletme sınıfının alansal dağılımları Tablo 11' de gösterilmiştir.



Şekil 6. Çalışma alanına ait fonksiyon haritası.

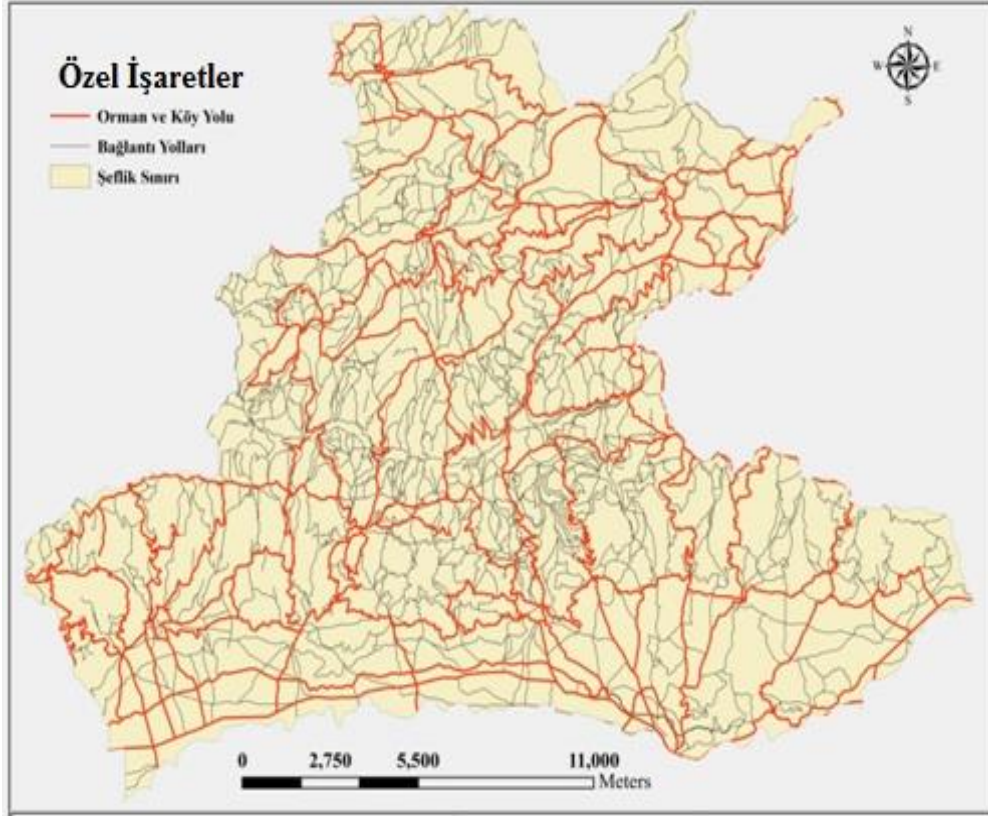
Tablo 11. Çalışma alanının işletme sınıflarına dağılımı.

İşletme Sınıfları	Ana fonksiyonlar	Genel fonksiyonlar	İdare Süreleri	Alan (hektar)
A (Sarıçam)	Ekonomik	Orman ürünleri üretimi	100	2870,2
B (Sarıçam)- (Ağaçlandırma)	Ekonomik	Orman ürünleri üretimi	120	2698,3
C (Kayın)	Ekonomik	Orman ürünleri üretimi	100	6980,6
D (Meşe)	Ekonomik	Orman ürünleri üretimi	80	6445,9
E (Sarıçam)	Ekolojik	Erozyon önleme	200	1261,2
F (Meşe)	Ekolojik	Erozyon önleme	220	17373,1
G (Sarıçam)	Sosyal ve kültürel	Ekoturizm ve rekreasyon	200	15,8
H (Sarıçam)	Sosyal ve kültürel	Hidrolojik	200	57,8



Şekil 7. Çalışma alanına ait işletme sınıfları haritası.

Çalışma alanındaki tüm yollar Şekil 8'de olduğu gibi belirlenmiştir. Çalışma alanında bulunan bağlantı yolları siyah renk ile gösterilirken orman ve köy yolları ise kırmızı renk ile gösterilmiştir.



Şekil 8. Çalışma alanına ait yol ağı haritası.

3.2. Yol Ağı Planlama Kriterlerine Ait Değişkenlerin Oluşturulması ve Hesaplanması

Çalışma alanı içerisinde bulunan yerlerin arazi kullanım durumları şeflik planlarına ait vektör tabanlı veri tabanının sınıflara ayrılması sonucu belirlenmiştir. Sınıflara ait arazi kullanım durumları farklı sayılar ile gösterilmiştir. Tablo 12'nin yardımı ile uygunluk değeri ve bu değere ait yüzdelik değerler belirlenmiştir. Çalışma alanı için 8 farklı arazi kullanım sınıfı belirlenmiştir.

Araziden ve literatürden elde edilen bilgiler doğrultusunda, belirlenen arazi kullanım sınıflarına yol planlama önceliğine göre uygunluk derecelendirmeleri yapılarak her bir arazi kullanım sınıfının ağırlık değerleri yüzdelik olarak belirlenmiştir. Yol ağı planlaması açısından arazi kullanım sınıflarının ağırlık değerleri sırası ile % 76,09 ağırlık değeri ile orman, % 76,09 ağırlık değeri ile koruya dönüştürme, % 60,14 ağırlık değeri ile bozuk orman, % 44,18 ağırlık değeri ile orman toprağı (OT), ve % 22,91 ağırlık değeri ile taşlık olduğu belirlenmiştir. Ağırlık değerleri % 0 olarak belirlenen ziraat, iskan, diğer yapılaşmalar ve su arazi kullanım sınıflarının ise orman yol ağı planlamasına uygun olmayan arazi kullanım sınıfı oldukları tespit edilmiştir.

Tablo 12. Çalışma alanı arazi kullanım sınıflarının ve ağırlıklarının belirlenmesinde kullanılan tablo.

Çalışma alanı arazi kullanımı	Kod	Max.	Min.	Ort. Değer	Ağırlık değeri (%)
Orman	1	2	4	3	76,09
Bozuk orman	2	2	7	4,5	60,14
Ziraat	3	0	0	0	0
Taşlık	4	6	10	8	22,91
Koruya dönüştürme	5	1	5	3	76,09
İskan ve diğer yapılaşmalar	6	0	0	0	0
Su	7	0	0	0	0
OT	8	3	9	6	44,18
Ortalama				3,06	75,43

Çalışma alanı içerisinde bulunan yerlerin arazi eğim sınıfları topoğrafik haritalar yardımıyla elde edilen topoğrafik yapılardan % 10 eğim farkları ile 8 eğim grubuna ayrılmıştır. Yol ağı planlamada dikkate alınması gereken çalışma alanı eğim sınıflarının her biri için Tablo 13'ün yardımı ile uygunluk değeri ve bu değere ait yüzdelik değerler belirlenmiştir.

Çalışma alanı için 8 farklı arazi eğim sınıfı belirlenmiştir. Araziden ve literatürden elde edilen bilgiler doğrultusunda, belirlenen arazi eğim sınıflarına yol planlama önceliğine göre uygunluk derecelendirmeleri yapılarak arazi eğim sınıflarının ağırlık değerleri yüzdelik olarak belirlenmiştir. Yol ağı planlaması kapsamında arazi eğim sınıflarının ağırlık değerleri sırası ile % 97,36 ağırlık değeri ile birinci eğim sınıfı, % 92,05 ağırlık değeri ile ikinci eğim sınıfı, % 81,41 ağırlık değeri ile üçüncü eğim sınıfı, % 60,14 ağırlık değeri ile dördüncü eğim sınıfı, % 28,23 ağırlık değeri ile beşinci eğim sınıfı, % 22,91 ağırlık değeri ile altıncı eğim sınıfı, % 12,28 ağırlık değeri ile yedinci eğim sınıfı olduğu belirlenmiştir. Ağırlık değeri % 0 olarak belirlenen sekizinci eğim sınıfının orman yol ağı planlamasına uygun olmayan arazi eğim sınıfı olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 13. Çalışma alanı arazi eğim sınıflarının ve ağırlıklarının belirlenmesinde kullanılan tablo.

Çalışma alanı arazi eğim sınıfları	Eğim (%)	Max.	Min.	Ort.	Ağırlık değeri (%)
1	0	10	1	1	97,36
2	10,0001	20	1	2	92,05
3	20,0001	30	2	3	81,41
4	30,0001	40	4	5	60,14
5	40,0001	50	6	9	28,23
6	50,0001	60	7	9	22,91
7	60,0001	70	8	10	12,28
8	70<		0	0	0
Ortalama				4,86	56,34

Çalışma kapsamında ArcGIS konumsal analiz (Spatial Analyst) eklentisi içerisinde bulunan yoğunluk analizi (Density) fonksiyonu kullanılarak çalışma alanı içerisinde bulunan yerlerin yol yoğunluğu sınıfları oluşturulmuştur. Raster hücrelerinin komşuluk ilişkileri öklid bağıntısı yardımı ile değerlendirilmiştir. Çalışma alanı için 5 m/ha aralıklar ile 10 farklı yol yoğunluğu sınıfı belirlenmiştir. Araziden ve literatürden elde edilen bilgiler doğrultusunda belirlenen çalışma alanı yol yoğunluğu sınıflarına yol planlama önceliğine göre uygunluk derecelendirmeleri yapılarak her bir yol yoğunluğu (YY) sınıfının ağırlık değerleri yüzdelik olarak belirlenmiştir (Tablo 14).

Yol ağı planlaması açısından çalışma alanı yol yoğunluğu sınıflarının ağırlık değerleri sırası ile % 97,36 ağırlık değeri ile birinci YY sınıfı, % 86,73 ağırlık değeri ile ikinci YY sınıfı, % 76,09 ağırlık değeri ile üçüncü YY sınıfı, % 65,46 ağırlık değeri ile dördüncü YY sınıfı, % 65,46 ağırlık değeri ile beşinci YY sınıfı, % 49,50 ağırlık değeri ile altıncı YY sınıfı, % 38,87 ağırlık değeri ile yedinci YY sınıfı, % 28,23 ağırlık değeri ile sekizinci YY sınıfı, % 6,96 ağırlık değeri ile dokuzuncu YY sınıfı olduğu belirlenmiştir. Ağırlık değeri % 0 olarak belirlenen onuncu YY sınıfının orman yol ağı planlamasına uygun olmayan yol yoğunluğu sınıfı olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 14. Çalışma alanı yol yoğunluğu sınıflarının ve ağırlıklarının belirlenmesinde kullanılan tablo.

Çalışma alanı yol yoğunluğu sınıfları	Yol yoğunluğu (m/ha)	Max.	Min.	Ort. Değer	Ağırlık değeri (%)
1	0 - 5	1	1	1	97,36
2	5,0001 - 10	1	3	2	86,73
3	10,0001 - 15	2	4	3	76,09
4	15,0001 - 20	2	6	4	65,46
5	20,0001 - 25	2	6	4	65,46
6	25,0001 - 30	2	9	5,5	49,50
7	30,0001 - 35	3	10	6,5	38,87
8	35,0001 - 40	5	10	7,5	28,23
9	40,0001 - 45	9	10	9,5	6,96
10	45<	0	0	0	0
Ortalama				4,78	57,18

Çalışma alanı içerisinde bulunan yerlerin ana dereye uzaklık (ADU) sınıfları hesaplamasında öklid geometrisi ile 10 m x 10 m piksel boyutlu raster veriler oluşturulmuştur. Araziden ve literatürden elde edilen bilgiler doğrultusunda belirlenen çalışma alanı ana dereye uzaklık sınıflarına yol planlama önceliğine göre uygunluk derecelendirmeleri yapılarak her bir ana dereye uzaklık sınıfının ağırlık değerleri yüzdelik olarak belirlenmiştir (Tablo 15). Ana dereye uzaklık sınıfları 25'er m mesafelerde toplam 3 sınıfa ayrılmıştır. Çalışma alanında üç farklı ana dereye uzaklık sınıfı belirlenmiştir. Yol ağı planlaması açısından çalışma alanı ana dereye uzaklık sınıflarının ağırlık değerleri sırası ile % 81,41 ağırlık değeri ile üçüncü ana dereye uzaklık sınıfı, % 76,09 ağırlık değeri ile ikinci ana dereye uzaklık sınıfı olduğu belirlenmiştir. Ağırlık değeri % 0 olarak belirlenen birinci ana dereye uzaklık sınıfının orman yol ağı planlamasına uygun olmayan ana dereye uzaklık sınıfı olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 15. Çalışma alanı ana dereye uzaklık sınıflarının ve ağırlıklarının belirlenmesinde kullanılan tablo.

ADU sınıfları	ADU (m)	Mak.	Min.	Ortalama değer	Ağırlık değeri (%)
1	0 - 25	0	0	0	0
2	25 - 50	1	5	3	76,09
3	50<	1	4	2,5	81,41
Ortalama				1,8	78,8

Çalışma alanında bulunan yerlerin yola uzaklık sınıfları 0-1000 m ve üzeri uzaklıklar arasında 100'er metre aralıklar ile 10 sınıfa ayrılmıştır. Araziden ve literatürden elde edilen bilgiler doğrultusunda belirlenen çalışma alanı yola uzaklık (YU) sınıflarına yol planlama önceliğine göre uygunluk derecelendirmeleri yapılarak her bir yola uzaklık sınıfının ağırlık değerleri yüzdelik olarak belirlenmiştir (Tablo 16). Yol ağı planlaması açısından çalışma alanı yola uzaklık sınıflarının ağırlık değerleri sırası ile % 97,36 ağırlık değeri ile onuncu yola uzaklık (YU) sınıfı, % 92,05 ağırlık değeri ile dokuzuncu YU sınıfı, % 86,73 ağırlık değeri ile sekizinci YU sınıfı, % 86,73 ağırlık değeri ile yedinci YU sınıfı, % 81,41 ağırlık değeri ile altıncı YU sınıfı, % 60,14 ağırlık değeri ile beşinci YU sınıfı, % 49,50 ağırlık değeri ile dördüncü YU sınıfı, % 28,23 ağırlık değeri ile üçüncü YU sınıfı, % 22,91 ağırlık değeri ile ikinci YU sınıfı olduğu belirlenmiştir. Ağırlık değeri % 6,96 olarak belirlenen birinci yola uzaklık sınıfının orman yol ağı planlamasına en az uygun olan yola uzaklık sınıfı olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 16. Çalışma alanı yola uzaklık sınıflarının ve ağırlıklarının belirlenmesinde kullanılan tablo.

YU sınıfları	Yola uzaklık (m)	Mak.	Min.	Ortalama Değer	Ağırlık Değeri (%)
1	0	100	9	10	9,5
2	100,0001	200	7	9	8
3	200,0001	300	6	9	7,5
4	300,0001	400	5	6	5,5
5	400,0001	500	4	5	4,5
6	500,0001	600	1	4	2,5
7	600,0001	700	1	3	2
8	700,0001	800	1	3	2
9	800,0001	900	1	2	1,5
10	900<		1	1	1
Ortalama				4,4	61,20

Çalışma alanı içerisinde bulunan yerlerin bakı sınıfları topoğrafik haritalardan üretilen SAM yardımıyla tespit edilmiştir. Araziden ve literatürden elde edilen bilgiler doğrultusunda belirlenen çalışma alanı bakı sınıflarına yol planlama önceliğine göre uygunluk derecelendirmeleri yapılarak bakı sınıflarının ağırlık değerleri yüzdelik olarak belirlenmiştir (Tablo 17). Çalışma alanı

için 9 farklı bakı sınıfı belirlenmiştir. Yol ağı planlaması açısından çalışma alanı bakı sınıflarının ağırlık değerleri sırası ile % 97,36 ağırlık değeri ile dördüncü bakı sınıfı (güney), % 86,73 ağırlık değeri ile beşinci bakı sınıfı (güneybatı), % 86,73 ağırlık değeri ile altıncı bakı sınıfı (güneydoğu), % 81,41 ağırlık değeri ile yedinci bakı sınıfı (batı), % 81,41 ağırlık değeri ile sekizinci bakı sınıfı (doğu), % 65,46 ağırlık değeri ile dokuzuncu bakı sınıfı (düz), % 65,46 ağırlık değeri ile üçüncü bakı sınıfı (kuzeydoğu), % 65,46 ağırlık değeri ile ikinci bakı sınıfı (kuzeybatı) olduğu belirlenmiştir. Ağırlık değeri % 60,14 olarak belirlenen birinci bakı sınıfının (kuzey) orman yol ağı planlamasına en az uygun olan bakı sınıfı olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 17. Çalışma alanı bakı sınıflarının ve ağırlıklarının belirlenmesinde kullanılan tablo.

Çalışma alanı bakı sınıfları	Bakı	Kod	Mak.	Min.	Ort. değer	Ağırlık değeri (%)
1	Kuzey	0-22,5	2	7	4,5	60,14
2	Kuzeybatı	292,5-337,5	2	6	4	65,46
3	Kuzeydoğu	22,5-67,5	2	6	4	65,46
4	Güney	157,5-202,5	1	1	1	97,36
5	Güneybatı	202,5-247,5	1	3	2	86,73
6	Güneydoğu	112,5-157,5	1	3	2	86,73
7	Batı	247,5-292,5	1	4	2,5	81,41
8	Doğu	67,5-112,5	1	4	2,5	81,41
9	Düz	-1	2	6	4	65,46
Ortalama					2,8	78,09

3.3. Yol Ağı Planlama Kriterlerine Ait Ağırlıkların Belirlenmesi

Yol ağı planlama kriterlerine ait ağırlıkların belirlenmesinde sıralama yöntem kullanılarak toplamları arasındaki oransal ilişki, karşılıklı sayı çiftleri arasındaki oransal ilişki ve üstsel ilişki olmak üzere üç farklı yaklaşım ile ortalamaları hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar sonucunda yol ağı planlamalarında en etkili kriterler olarak % 22'lik ortalama ile yol yoğunluğu ve arazi eğimi kriterlerinin olduğu belirlenmiştir. En az etkiye sahip yol ağı planlama kriterinin ise % 11'lik ortalama ile ana dereye uzaklık kriteri olduğu belirlenmiştir. Çalışma alanı için yol ağı planlamada etkili olan kriterlerin önem düzeyleri yüzdelik olarak sırası ile % 22 oranında yol yoğunluğu, % 22 oranında arazi eğimi, % 20 oranında yola uzaklık, % 13 oranında arazi kullanımı, % 12 oranında bakı ve % 11 oranında ana dereye uzaklık olduğu belirlenmiştir.

Tablo 18. Yol ağı planlama kriterlerinin ağırlıklandırılması.

Yol planlama kriterleri	ağı	Toplamları arasındaki oransal ilişki	Karşılıklı sayı çiftleri arasındaki oransal ilişki	Üstsel ilişki	Ortalamalar
Arazi Eğimi		0,22-%22	0,20-%20	0,26-%26	0,22-%22
Ana Dereye Uzaklık		0,12-%12	0,14-%14	0,08-%8	0,11-%11
Yol Yoğunluğu		0,21-%21	0,19-%19	0,25-%25	0,22-%22
Yola Uzaklık		0,20-%20	0,18-%18	0,22-%22	0,20-%20
Bakı		0,12-%12	0,14-%14	0,09-%9	0,12-%12
Arazi Kullanımı		0,13-%13	0,15-%15	0,10-%10	0,13-%13
		1- %100	1-%100	1-%100	1-%100

4. Sonuç ve Tartışma

Ülke genelinde standart bir uygulama için orman yolu yapımı ve planlamasında dikkate alınması gereken kriterlerin belirlenmesi son derece önemlidir. Çalışmanın amacı orman yol ağı planlamada önemli olan kriterleri etki derecelerine göre belirlemek ve ülke genelinde standart bir uygulamanın geliştirilmesini sağlamaktır. Araştırma Tokat Orman İşletme Müdürlüğüne bağlı Yaylacık Orman İşletme Şefliği sınırları içerisinde yapılmıştır. Çalışma sonucunda orman yol ağı planlamasında kullanılacak kriterler belirlenmiştir. Yol ağı planlamada oldukça önemli olan eğim ve bakı kriterleri değerlendirildiğinde çalışma alanının orman yollarının yapımına uygun olduğu belirlenmiştir. Bu kapsamda çalışma alanının % 46'sının hafif eğimli ve düz arazi olduğu, % 45,9'unun ise eğimli ve orta eğimli arazi olduğu, % 8,1'inin çok dik arazi olduğu belirlenmiştir. Çalışma alanının % 24,03'ünün kuzey bakılarda yer aldığı, % 52,78'inin ise güney bakılarda yer aldığı belirlenmiş olup orman yolları tebliğinde belirtilen yol ağı planlamada orman yollarının mümkün olduğunca güneye bakan yamaçlardan geçirilmesi gerektiği hususu kapsamında çalışma alanının bakı yönünden de orman yolları planlamasına uygun olduğu tespit edilmiştir.

Araştırma sonucunda orman yol ağı planlamada etkili olan kriterler; yol yoğunluğu, arazi eğimi, bakı, arazi kullanımı, ana dereye uzaklık, yola uzaklık olarak belirlenmiş olup kriterlerin önem düzeyleride tespit edilmiştir. Yol ağı planlamada etkili olan her bir kriter kendi içerisinde sınıflandırılarak puanlandırılmıştır. Orman yol ağı planlamada kullanılacak kriterlerin belirlenmesinde ve karar almada karşılaşılabilecek problemlerin ortadan kaldırılmasında derecelendirme yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntem ile belirlenen kriterler için beş farklı derece ve uygunluk değeri tanımlanmıştır. Bu kapsamda yokluk (Yo), yol ağı planlaması için çok uygun yerler (ÇU), yol ağı planlaması için uygun yerler (U), yol ağı planlaması için az uygun yerler (AU) ve yol ağı planlaması için çok az uygun yerler (ÇAU) şeklinde konumsal durumlarının belirlenmesi amacıyla beş temel yol ağı planlama fonksiyonuna ulaşmak için oluşturulmuştur. Sonuç olarak yol ağı planlamalarında en etkili kriterin yol yoğunluğu ve arazi eğimi olduğu, en az etkiye sahip kriterin ise ana dereye uzaklık olduğu tespit edilmiştir. Çalışma alanı için yol ağı planlamada etkili olan kriterlerin önem düzeyleri yüzdelik olarak sırası ile % 22 oranında yol yoğunluğu, % 22 oranında arazi eğimi, % 20 oranında yola uzaklık, % 13 oranında arazi kullanımı, % 12 oranında bakı ve % 11 oranında ana dereye uzaklık olduğu belirlenmiştir. Ülke genelinde uygulamada bütünlük ve kolaylık sağlaması açısından çalışma sonucunda orman yol ağı planlamada kullanılacak kriterlerin ve önem düzeylerinin belirlenmesi akış şeması oluşturulmuştur.

Teşekkür

Bu çalışmada Karadeniz Teknik Üniversitesi'nin 9320 No'lu Projesi kapsamında bilimsel araştırma olarak desteklenen doktora tezimin bir bölümü yer almaktadır. Bu nedenle Karadeniz Teknik Üniversitesine ve KTÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon birimine teşekkür ederim. Ayrıca doktora tez danışmanım Prof.Dr. H.Hulusi ACAR'a bilimsel destek ve katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Referanslar

- [1] Çevre ve Orman Bakanlığı Orman Genel Müdürlüğü İnşaat ve İkmal Dairesi Başkanlığı, "Orman Yolları Planlaması, Yapımı ve Bakımı Tebliği No:292," OGM, Ankara, 2008.
- [2] B. Arıçak, "Orman Yolu İnşaatında Dolgu ve İnşaat Etki Alanlarının Uzaktan Algılama Verileri ile Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma," Ph.D. Thesis, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2008.
- [3] M. Hasdemir ve M. Demir, "Türkiye'de Orman Yollarını Karayolundan Ayıran Özellikler ve Bu Yolların Sınıflandırılması," *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, vol. 50, no. 2, pp. 85-96, 2000.
- [4] E. Görçelioğlu, *Orman Yolları-Erozyon İlişkisi*. İ.Ü. Orman Fakültesi Yayınları, No:4460/476, 184 s., İstanbul, 2004.
- [5] M. Demir, "Impacts, Management and Functional Planning Criterion of Forest Road Network System in Turkey," *Transport Research Part-A*, vol. 41, pp. 56-68, 2007.
- [6] O. Erdaş, *Orman Yolları*. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi Yayın No: 188/26, 744 sayfa, Karadeniz Teknik Üniversitesi Basımevi, Trabzon, 1997.
- [7] Ormancılık Özel İhtisas Komisyonu Raporu, "VIII. Beş Yıllık Kalkınma Planı," Yayın No. DPT:2531-OİK:547, Ankara, 2001.
- [8] E. Hayati, B. Majnounian, E. Abdi, J. Sessions, and M. Makhdoum, "An expert-based approach to forest road network planning by combining Delphi and spatial multi-criteria evaluation," *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 185, no. 2, pp. 1767–1776, May 2012, doi: 10.1007/s10661-012-2666-1.

- [9] S. Gülci, "Orman İçi ve Kenarı Yol Ağlarında Ekolojik Sanat Yapıları Üzerine Araştırmalar," Ph.D. Thesis, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş, 2014.
- [10] A. Guisan, T. C. Edwards, and T. Hastie, "Generalized linear and generalized additive models in studies of species distributions: setting the scene," *Ecological Modelling*, vol. 157, no. 2–3, pp. 89–100, Nov. 2002, doi: 10.1016/s0304-3800(02)00204-1.
- [11] E. Göçmen Polat, "An Analysis for Pasture Improvement: Provincial Example," *International Scientific and Vocational Studies Journal*, Jun. 2022, doi: 10.47897/bilmes.1070773.
- [12] F. Sari, "Forest fire susceptibility mapping via multi-criteria decision analysis techniques for Mugla, Turkey: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS," *Forest Ecology and Management*, vol. 480, p. 118644, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.foreco.2020.118644.
- [13] E. D. Urmak, Y. Çatal ve M. Karaatlı, "İllerin ormancılık faaliyetlerinin AHP temelli MAUT ve SAW yöntemleri ile değerlendirilmesi," *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, vol. 22, no. 2, pp. 301-325, 2017.
- [14] M. Dedeoğlu ve O. Dengiz, "Coğrafi bilgi sistemleri ile entegre edilen çok kriterli karar destek analiz yaklaşımı kullanılarak arazi uygunluk sınıflarının belirlenmesi," *Ziraat Fakültesi Dergisi*, vol. 13, no. 2, pp. 60-72, 2018.
- [15] J. R. Eastman, W. Jin, P. A. K. Kyem ve J. Toledano, "Raster Procedures for Multi-Criteria/Multi-Objective Decisions," *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, vol. 61, no. 5, pp. 539-547, 1995.
- [16] W. Kainz, M. J. Egenhofer ve I. Greasley, "Modelling Spatially Relations and Operations with Partially Ordered Sets," *Int. J. Geographical Information Systems*, vol. 7, no. 3, pp. 215-229, 1993.
- [17] J. Malczewski, "GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature," *International Journal of Geographical Information Science*, vol. 20, no. 7, pp. 703–726, Aug. 2006, doi: 10.1080/13658810600661508.
- [18] R. W. Saaty, "The Analytic Hierarchy Process—what It Is and How It Is Used," *Mathematical Modelling*, vol. 9, no. 3–5, pp. 161–176, 1987, doi: 10.1016/0270-0255(87)90473-8.
- [19] J. Malczewski, "On the Use of Weighted Linear Combination Method in GIS: Common and Best Practice Approaches," *Transactions in GIS*, vol. 4, no. 1, pp. 5–22, Jan. 2000, doi: 10.1111/1467-9671.00035.
- [20] K. Chang, *GIS Models and Modelling*. Introduction to Geographic Information Systems, Chapter Fourteen, McGraw Hill, New York, p. 400, 2004.
- [21] S. J. Carver, "Integrating multi-criteria evaluation with geographical information systems," *International journal of geographical information systems*, vol. 5, no. 3, pp. 321–339, Jan. 1991, doi: 10.1080/02693799108927858.
- [22] H. Jiang and J. R. Eastman, "Application of fuzzy measures in multi-criteria evaluation in GIS," *International Journal of Geographical Information Science*, vol. 14, no. 2, pp. 173–184, Mar. 2000, doi: 10.1080/136588100240903.
- [23] E. Çalışkan, "Planning of Forest Road Network and Analysis in Mountainous Area," *J. Agr. Sci. Tech.*, vol. 15, pp. 781-792, 2013.
- [24] D. Öztürk ve F. Batuk, "Implementation of GIS-Based Multicriteria Decision Analysis with VB in ArcGIS," *International Journal of Information Technology & Decision Making*, vol. 10, no. 6, pp. 1023-1042, 2011.
- [25] F. Zimmermann, "Conservation of the Eurasian Lynx (*Lynx lynx*) in a Fragmented Landscape - habitat Models, Dispersal and Potential Distribution," Ph.D. Thesis, Faculté de biologie et de médecine de l'Université de Lausanne, Switzerland, pp. 1-193, 2004.
- [26] Esri, "Using ArcView GIS: User Manual," Redlands, California: Environmental Systems Research Institute, 1996.

Sustainable Grids: Smart Meter Solutions for Efficient Energy Measurement

Altınok Yasemin ^a, Lüy Murat ^b, Metin Nuri Alper^{c,1}, Görgülü Balcı Sonay ^d, Acar Fevzi ^e

^a Electrical and Electronics Engineering, Kırıkkale University, Kırıkkale, Turkey
ORCID ID: 0000-0002-5132-9119

^b Electrical and Electronics Engineering, Kırıkkale University, Kırıkkale, Turkey
ORCID ID: 0000-0002-2378-0009

^c Electrical and Electronics Engineering, Kırıkkale University, Kırıkkale, Turkey
ORCID ID: 0000-0002-9962-917X

^d Kırıkkale University Distance Education Research and Application Center, Kırıkkale, Turkey
ORCID ID: 0000-0002-2834-2462

^e Enso Electrical Engineering Consultancy Ltd.Şti., Ankara, Turkey
ORCID ID: 0009-0005-7067-1461

Abstract

In this study, an energy meter simulation is designed with MATLAB/Simulink and active-reactive power, power factor and energy consumption measurements are realized. The energy meter is crucial for producers and consumers to precisely measure the quantity of electrical energy produced or consumed. This paper aims to establish a three-phase system that simulates the energy meter and assesses its efficiency. The energy consumed under different loads has been measured to accomplish this goal. The study summarizes the simulation findings, encompassing tabular and graphical representations. Hence, the dependability and precision of the simulated energy meter model should be observed.

Keywords: “Smart Meter, Energy Measurement, Smart Grid.”

1. Introduction

The energy sector must be digitized for the energy transition. All consumers and producers must communicate continuously for a safe and effective energy system. Smart meters can help with this[1]. Thanks to smart meters (SMs) used in smart grids (SG), consumers’ energy consumption is measured by obtaining information from the end user’s load devices and information can be presented to the system operator. Many sensors and control devices supported by special communication infrastructure are used in smart meters [2].

This technology, known as smart meter technology, is a device that monitors energy use in real-time in comparison to more conventional ways of measuring. In recent years, smart meters have made it possible to monitor energy use in an intelligent, efficient, and systematic manner. This has led to technological breakthroughs that have revolutionized the measuring business. There is tremendous potential for the growth of smart meters through measurement intelligence and analytics. Smart meters are currently being utilized worldwide in residential infrastructure and industrial applications. In order to measure the amount of electrical power that is consumed in each of the three phases, the three-phase energy smart meter (3PESM) modeling provides for the gathering of data in real-time, as well as analysis and control of energy consumption. The monitoring and management of electricity usage, the identification of locations with excessive energy consumption, and the development of strategies for energy efficiency are all made more accessible as a result of this. The capabilities of smart meters include sophisticated metering and computational hardware, software, calibration mechanisms, and communication capabilities. If smart meters are engineered to fulfill functions, store data, and transmit data adhering to specific standards, they can seamlessly integrate into the smart grid infrastructure. Implementing smart grids, smart meters, and smart metering presents a prospective solution to ensuring efficient power supply management and optimizing resource utilization. This objective could be attained by mitigating electricity demand [3].

Smart metering systems have evolved with the revolutionary development of existing power networks and are considered as a new generation power measurement system. Smart metering systems are generally referred to as the next-generation power

¹ Corresponding Author
E-mail Address: alper-metin@hotmail.com

metering system and are considered to be the revolutionary and evolutionary regime of existing power grids. With the integration of advanced computing and communication technologies, the smart meter (SM) is expected to greatly enhance the efficiency and reliability of renewable energy sources and future power systems, as well as distributed intelligence and demand response [4].

Hardware, software, and communication infrastructure are the components that compose smart meter systems. These components allow for the transmission of data remotely between energy consumption monitoring equipment and the central data system in smart grids. In smart grid networks, these systems play a significant role in facilitating remote data transmission and facilitate the measurement of energy consumption. They also support the measurement of energy consumption [5]. In addition, smart energy meters can be utilized per the directives provided by individual consumers to monitor and control various gadgets and appliances associated with the home [6]. Several aspects are of utmost significance in the realm of smart meters. These include the provision of customers with real-time access to consumption information and guaranteeing their involvement in the market, dynamic tariff applications, real-time demand tracking, and improved demand-side management [7]. The critical tasks of smart meters are the effective management of energy consumption through the use of data transmission methods, the protection against cyber attacks through the implementation of security measures, the prevention of power outages in advance, and the control of consumers' energy usage through the use of particular thresholds [8]. The next generation of smart meters will certainly aid society in accomplishing its future energy goals and improve the interaction between energy providers and consumers [9].

1.1. Literature Review

Research on smart meters designed using MATLAB/Simulink reveals several significant findings.

Emmanouil et al. (2018) developed an energy circuit model for single-phase electrical energy consumption measurement, minimizing errors through frequency measurement methods [10]. Ahmad et al. (2022) introduced a single-phase prepayment energy meter, employing Arduino Uno, relay, and GSM Shield Sim9000 to inform customers about energy usage and cut off power when necessary [11]. Azmi et al. (2018) simulated a three-phase energy consumption meter using MATLAB/Simulink, analyzing its performance across various load types and concluding high accuracy and efficiency [12]. Malathi and Sugasini (2022) proposed a three-phase energy meter model utilizing MATLAB/Simulink, incorporating IoT for real-time energy monitoring and usage restriction [13].

Tobias and Natalia Kryvinska examined the current state of smart meter technology and communication technologies utilized in smart meter systems [1]. Gouri R. Barai et al. investigated smart metering, smart grid technologies, and related standards [3]. Konark Sharma et al. explored smart meter technology's metrology ICs, harmonic effects, and security requirements [4]. Considering existing technologies and legislation, Francesco Benzi et al. proposed a local interface for smart meters [14].

Sarah Darby focused on smart metering's impact on demand and supplier-user interface enhancement [15]. Umayal Muthu et al. introduced a Smart Energy Meter for IoT-based energy management [16]. Rosado, J.; Cardoso, Filipe, Silva, and Marco developed an accurate energy meter measuring multiple parameters [17]. Jambi, J. Remang Ak et al. addressed security challenges in smart energy meters [18]. Liu, Yan, and Gu Yang investigated DC energy meters, presenting a highly accurate device for measuring DC voltage, current, and electrical energy [19].

Traditional meters often introduce errors in the energy billing process, such as human reading mistakes [20]. Since smart meters are information-gathering units, examining their reliability is paramount [21]. Energy meters are devices that calculate and display the power usage in the consumer's premises. Energy meters display each load's energy model to assist consumers become more conscious of energy waste [12].

The MATLAB/Simulink software facilitates the measurement of electrical parameters, encompassing current, voltage, active power, and power factor, across diverse load conditions within the system, obviating the need for hardware components [13]. To ensure the desired functionality of the meters, developing a simulation model for the meters and verifying its accuracy through experimentation is imperative. Various design and software tools, including MATLAB/Simulink, PSCAD, PSIM, and LabVIEW, are utilized for energy system simulations and control designs. Consequently, MATLAB/Simulink was chosen to model the three-phase energy meter in this investigation. This study presents an energy meter simulation model anticipated to be a valuable asset in critical domains such as enhancing energy systems' efficiency, reliability, and performance, reducing economic losses, and optimizing energy consumption. Measurements were conducted under diverse load conditions in the simulated model to assess the system's operational performance.

Table 1. Literature Review

Study	Topic	Hardware and Software Used
Emmanouil et al. (2018)	Single Phase Energy Meter	MATLAB/Simulink
Ahmad et al. (2022)	Energy Meter	Arduino
Azmi et al. (2018)	Energy Meter	MATLAB/Simulink
Malathi and Sugasini (2022)	Three phase energy meter	MATLAB/Simulink
Tobias and Natalia Kryvinska's (2022)	Smart Meter Technology	SWOT-analysis
Jixuan Zheng et al. (2013)	Smart Meter Technology	Value Proposition
Gouri R. Barai et al. (2015)	Smart Meter Technology	Research
Konark Sharma et al. (2015)	Smart Meter Technology	Research
Francesco Benzi et al. (2011)	Local Interface For Smart Meters	Research
Sarah Darby (2010)	Smart Metering	Research
Umayal Muthu et al. (2023)	Smart Energy Meter	Embedded Controller
J. Rosado et al. (2023)	Energy Meter	Microcontroller
Jambi,J. Remang Ak et al.(2023)	Smart Meter Technology	Research
Liu, Yan, and Gu(2023)	DC Energy Meters	
Rajput et al. (2018)	Energy Meter	Arduino,GSM
Zhang, C. D. Xiao, Y. Xue, and X. L. Zhang (2014)	Energy Meter	MATLAB/Simulink
N. H. Azmi et al.(2018)	Energy Meter	MATLAB/Simulink
R. Malathi and K. Sugasini(2022)	Three Phase Energy Meter	MATLAB/Simulink

2. Materials and Methods

Meters that are equipped with smart technology are among the most essential elements of smart grids (SG). The grid is the electrical system that is responsible for the generation, transmission, distribution, and consumption of electricity. Smart meter is one of the most important devices used in smart grids (SG). Grid is the term used to describe the electrical system, which includes the generation of electricity, the transmission of electricity, the distribution of power, and the consumption of electricity. In conventional power grids, the movement of electrical energy occurs from a limited number of central generators to a large number of load centres. These load centres are the locations where consumers or electricity suppliers are located. [22]. The growth of traditional grids has led to the creation of smart grids (SG), which consist of an automated and distributed energy distribution network that enables electricity flow as well as information movement in both directions. A tabular representation of the comparison between the conventional grid and the smart grid (SG) is given in Table 2 [2].

Table 2. A comparison of the SG and the current grid [2]

Existing Grid	Smart Grid
Electro-mechanical	Digital
One way communication	Two way communication
Centralized production	Distributed production
Few sensors	Through-length sensor
Manually observing	Self-observance
Restoration by hand	Self-healing
Malfunctions and blackouts	Adaptable and islanding
Restricted Control	Prevalent Control
Few consumer options	Many consumer options

Smart meters give customers the advantage of controlling their energy consumption and lowering their electricity bills since they can forecast their bills based on the data they collect. From the service provider's view, the advantage is that they may price in real-time using the data gathered from smart meters. This enables companies to set maximum electricity consumption limits and encourage customers to lower their demand during high load times. In order to optimize power flows based on data received from demand participants, the system operator can remotely cut off or reconnect any customer's electrical supply using the relevant mechanism. The comparison between a smart and a traditional energy meter is shown in Figure 1 [3].

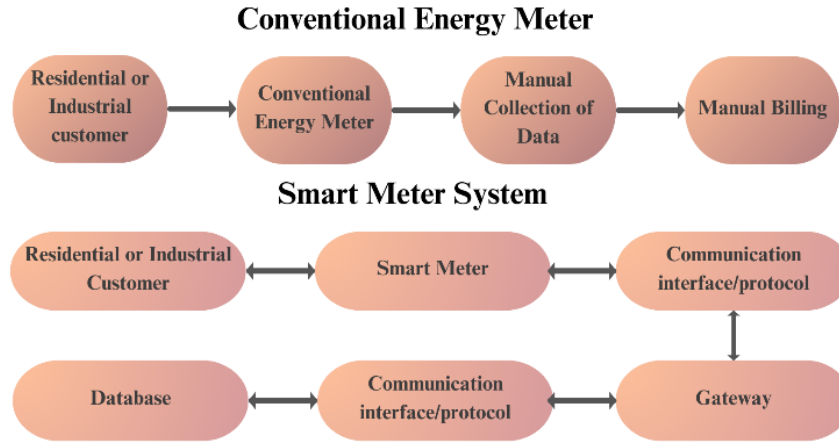


Fig. 1. Comparing the Architecture of Smart and Conventional Energy Meters [23]

Smart meter systems have a simple general operation and a variety of technologies and designs. Smart meters gather information from end users and send it across a local area network (LAN) to a data collector. Depending on the requirements of the data request, this transmission process may be carried out seldom, once a day or every 15 minutes. After that, the data is received and sent by the collector. Service center aggregation points use the Wide Area Network (WAN) to further analyze data.

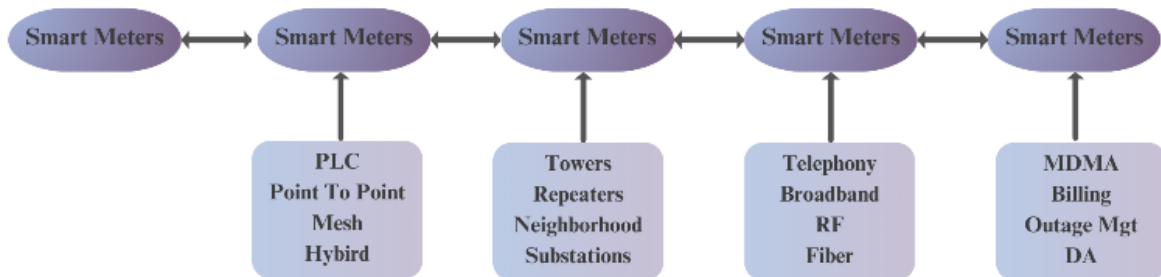


Fig. 2. The Fundamental Design of Smart Meter System Functions [2]

Power Line Carrier (PLC) and Radio Frequency (RF) are the two fundamental technologies used in smart meter system communication. Applications involving smart grids include a variety of benefits and drawbacks. Utilities will select the technology that will yield the greatest commercial return based on their features. A detailed evaluation and study of the business's present requirements and potential future benefits is necessary to make the best technological selection.

In modeling a three-phase energy meter, it is important to accurately measure current and voltage across multiple loads, including resistive (R), inductive (R-L), and capacitive (R-C) loads. Confirmation of the phase angle discrepancy of the load is an essential step. At this point, it is necessary to ensure that the power factor measurement measurements are accurate. The system may resume the modeling process to reevaluate the voltage and current levels if the criteria for phase angle difference is not satisfied. The power factor measurement is contingent on fulfilling the criterion for the phase angle difference. The number that represents the power factor provides information about the kind of load that is being employed by this system. Next, the methodology entails quantifying energy consumption by measuring utilized energy. A graphical format facilitates the visualization of energy consumption metrics for each load type. The energy meter model is elucidated in the flowchart depicted in Figure 3.

The energy meter model consists of three basic equations. Equation 1 represents Ohm's Law and provides the output current.

$$I = \frac{V}{R} \quad (1)$$

Here, R is the resistance of the connected load, I is the current and V is the voltage across the load. Equation 2 provides the active power for a three-phase energy meter.

$$P = \sqrt{3}IV \cos \theta \quad (2)$$

Here, P is the active power and $\cos \theta$ is the power factor calculated using the formula. Equation 3 gives the computation for the energy consumption (E) of any load in a particular time interval.

$$E = \int_{t_0}^{t_1} v(t) i(t) dt \quad (3)$$

Here, the three-phase energy meter system's voltage supply is represented by $v(t)$ and its load current by $i(t)$.

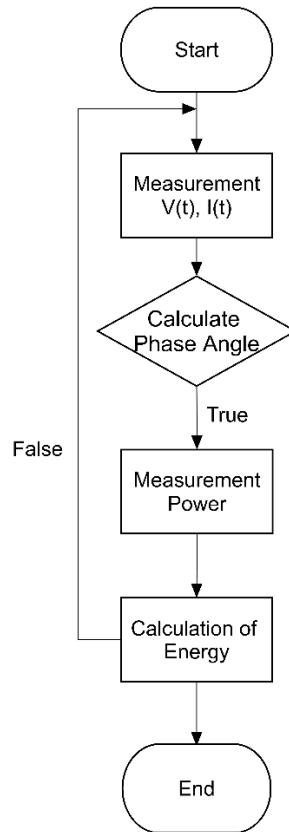


Fig. 3. Energy Meter Model Flowchart

2.1. System Design

The transmission of electrical energy in three-phase systems provides balanced load distribution, high efficiency, lower current and voltage fluctuations, and higher power capacity. The phase difference in three-phase electrical energy systems indicates the angular displacement between the sinusoidal waveforms of different phases. In an AC power source, three phases are 120° apart. “Three-phase energy meters” are used for energy measurement in these systems. The design of a three-phase energy meter involves the measurement of current and voltage, calculating power factors, determining active and reactive power, and, subsequently, estimating energy consumption. The power factor value in our developed system is derived by taking the cosine of the current and voltage waveforms’ phase angle. These calculations are done after the current and voltage values have been measured. The active power value was determined by multiplying the RMS values of current, voltage, and power factor. The reactive power calculation involves multiplying the phase angle sine, voltage, and RMS current. Energy consumption is calculated based on active power measurements over a specific time interval.

The schematic diagram depicting the outlined three-phase energy meter is presented in Figure 4.

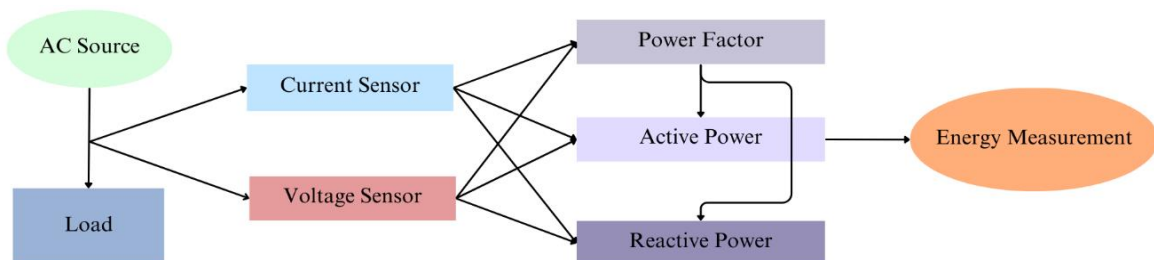


Fig. 4. Energy Meter Block Diagram

3. Simulation Model

The simulation of our three-phase energy meter model was carried out using the MATLAB/Simulink program. Several blocks are included in this model. The first is the load block, consisting of an ideal switch connected in series with the load. The ideal switch ensures the synchronous operation of all three phases. The simulation visualization of the system is shown in Figure 5.

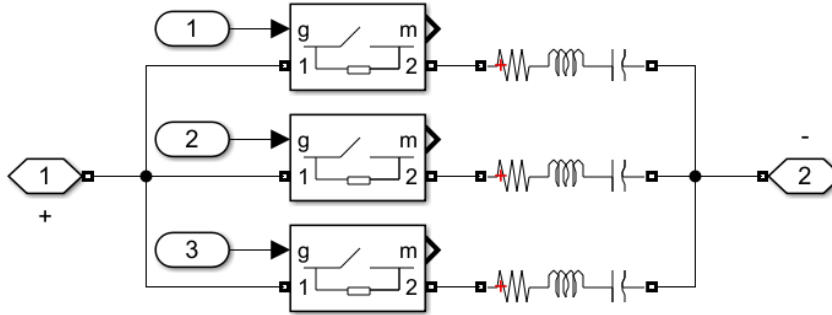


Fig. 5. Load Block

Another block is the power factor block. This is where the power factor computation from the voltage and current phase angle difference is performed. Figure 6 shows the simulation model.

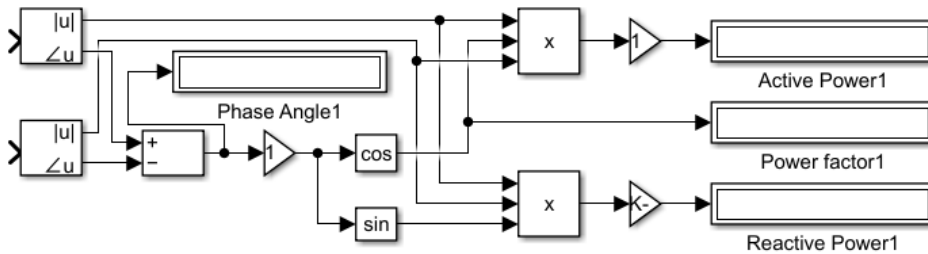


Fig. 6. Power Measurement Block

The Energy Metering block showing the energy consumption value in Kilowatts (kW) for different load types is shown in Figure 7.

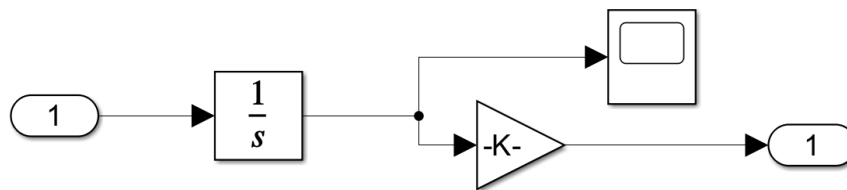


Fig. 7. Energy Measurement Block

The full simulation model of the three-phase energy meter is shown in Figure 8.

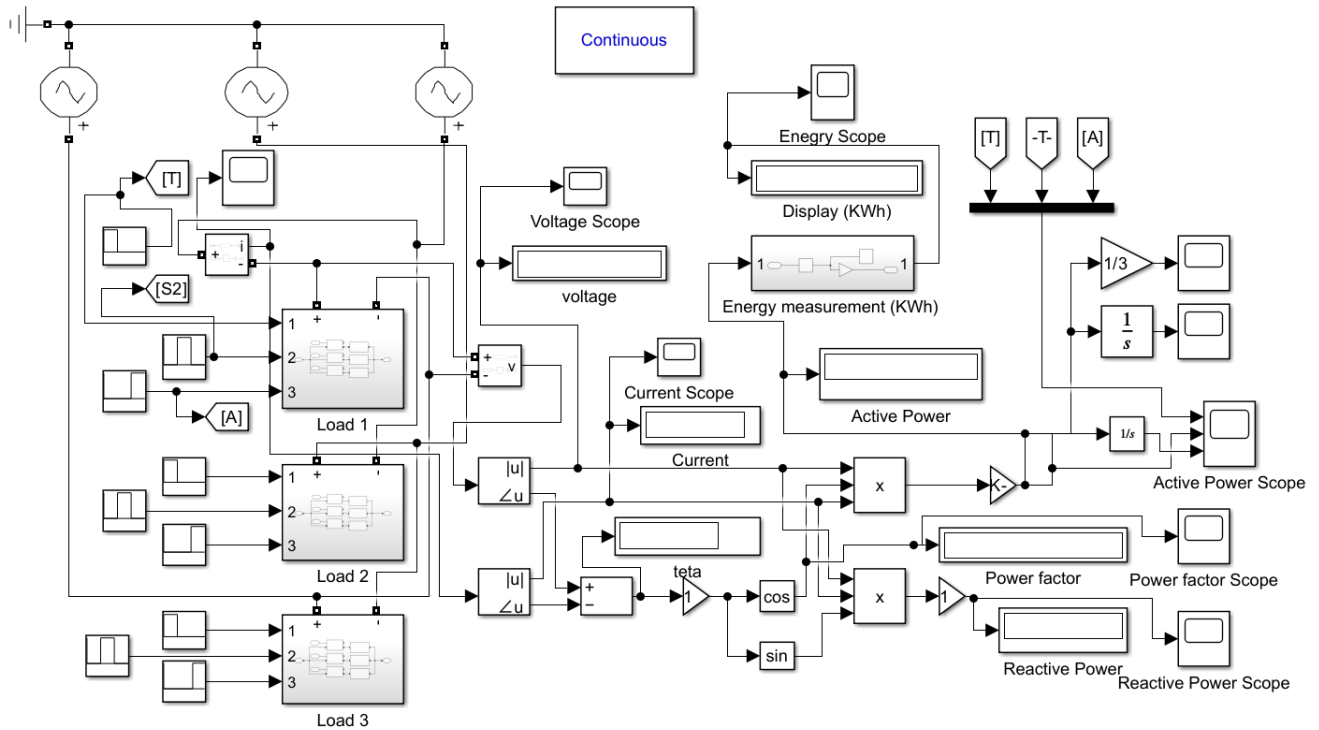


Fig. 8. Three-Phase Energy Meter Model

3.1. Simulation Model Results

In the simulation modeled to analyze the system's operating performance, measurements were performed under different loads, namely R, R-L, and R-C loads. The simulation results of the measured current and voltage values, power factor, active and reactive power, and energy consumption values for R load, R-L load, and R-C load are shown in graphs.

3.1.1. R Load

In the three-phase energy meter simulation model, measurements were conducted under resistive load conditions spanning from 100 ohms to 1000 ohms. The resulting measurement data is presented in Table 3.

Table 3. Results of Simulation with R Load

Resistance (Ω)	Voltage (V)	Current (A)	Power Factor	Active Power(W)
100	220	2.20	1	839.98
200	220	1.104	1	420.83
300	220	0.7377	1	281.11
400	220	0.5544	1	211.25
500	220	0.4444	1	169.33
600	220	0.371	1	141.38
700	220	0.3187	1	121.42
800	220	0.2794	1	106.45
900	220	0.2488	1	94.81
1000	220	0.22	1	85.49

As seen in Table 3, the voltage remains constant for varying resistance values, while the current and active power decrease with increasing resistance. These observations are corroborated by the principles of Ohm's Law (Equation 1) and the active power formula (Equation 2). Accordingly, the rise in resistance leads to a decline in current, dictated by Ohm's Law, consequently resulting in a reduction of active power, while voltage remains constant. Figure 9 illustrates the temporal profile of voltage measurements taken at a resistance of 100 ohms. Figure 10 depicts the temporal dynamics of current measurements recorded at a resistance of 100 ohms over time. Initially, both current and voltage values exhibited fluctuations until the 12th second. Subsequently, these fluctuations ceased entirely, leading to a period of stable current and voltage values.

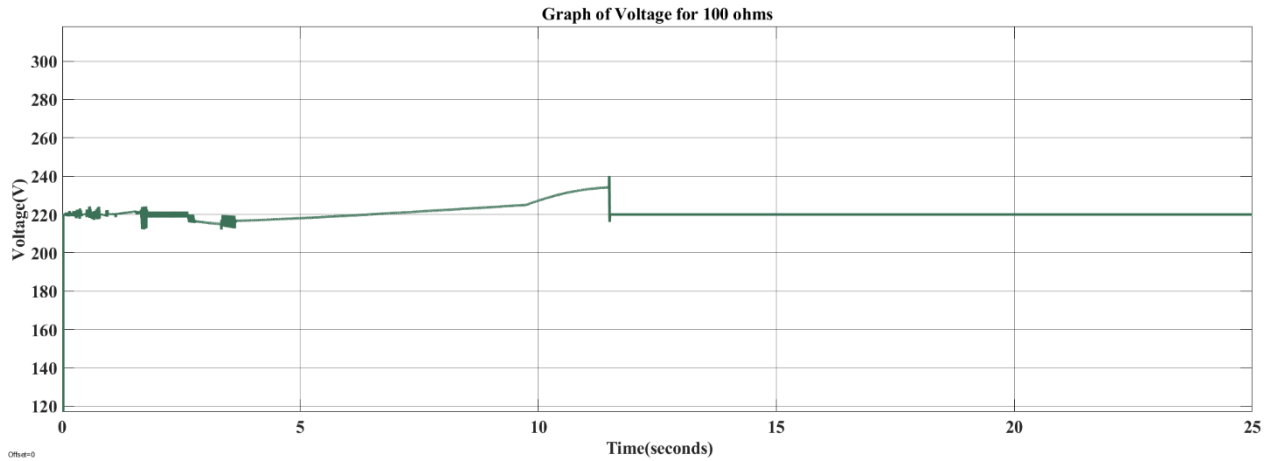


Fig. 9. Graph of Voltage for 100 ohms

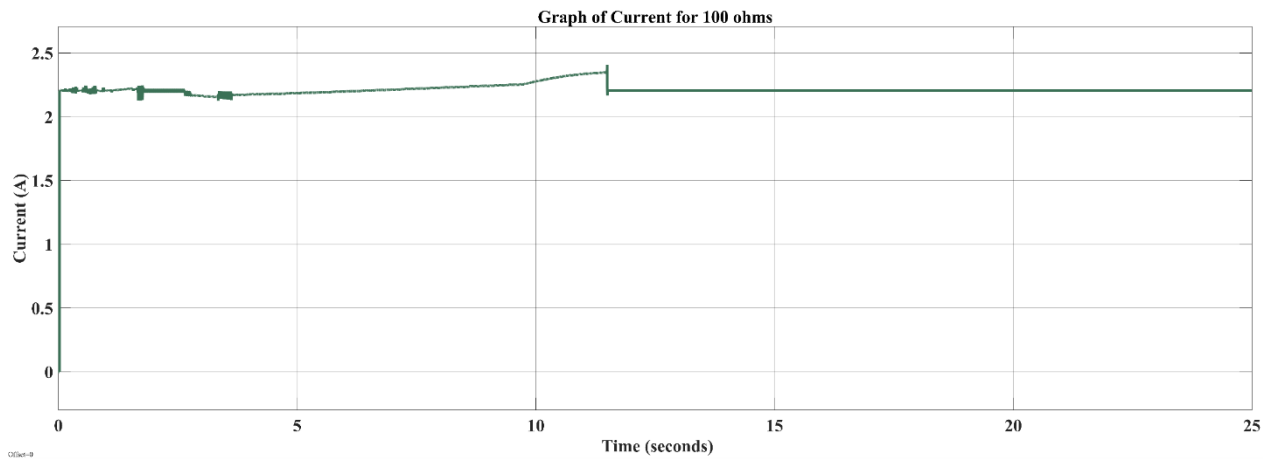


Fig. 10. Graph of Current for 100 ohms

The power factor graph depicted in Figure 11 remains consistent across all resistance values. A resistive load is characterized by a phase angle value of 0 degrees. The phase angle quantifies the temporal disparity between the voltage and current oscillations. Equation 1 states that the current changes linearly with the voltage in a resistive load. The voltage and current waves are synchronized in this scenario, meaning their phase angle is 0° . The significance of a phase angle of 0° in a resistive load is directly linked to the power factor. The power factor measures the proportion of reactive power (caused by the phase difference between voltage and current) to active power in a circuit. The power factor is a numerical value that ranges from -1 to 1. In a resistive circuit, the presence of reactive power is negligible or nonexistent due to the alignment of current and voltage in phase. Hence, the power factor is 1. A power factor 1 indicates that the circuit operates with high energy efficiency and does not require reactive power. A resistive load operating at a phase angle of 0° achieves maximum energy efficiency by eliminating reactive power in the system. Low power factors in industrial applications and energy systems increase loads and losses.

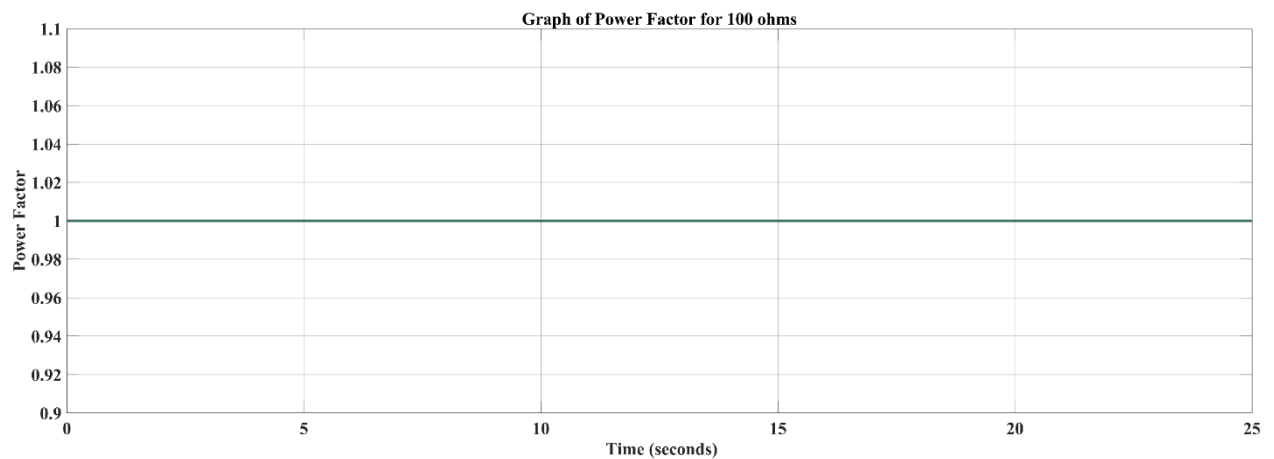


Fig. 11. Graph of Power Factor for 100 ohms

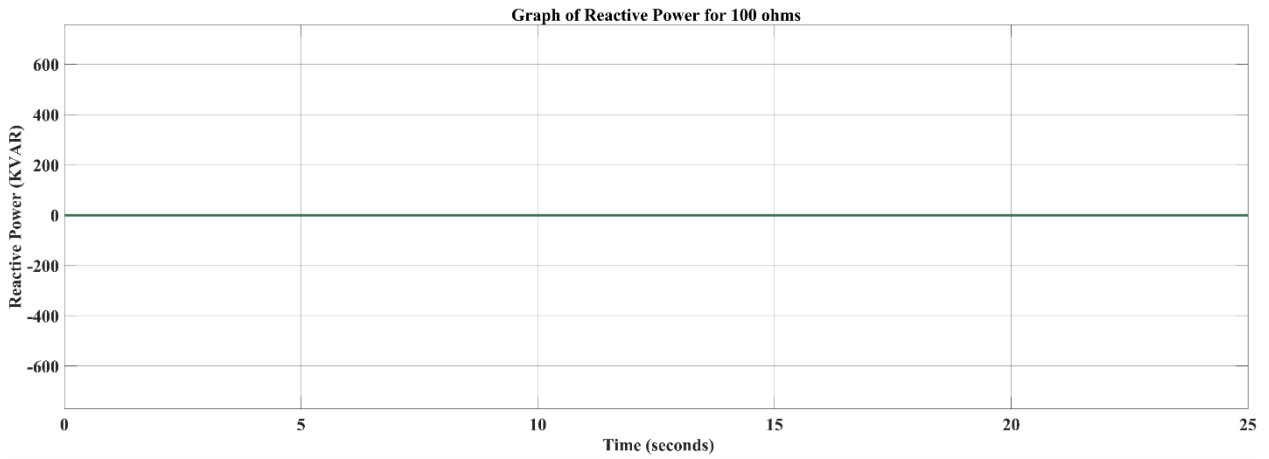


Fig. 12. Graph of Reactive Power for 100 ohms

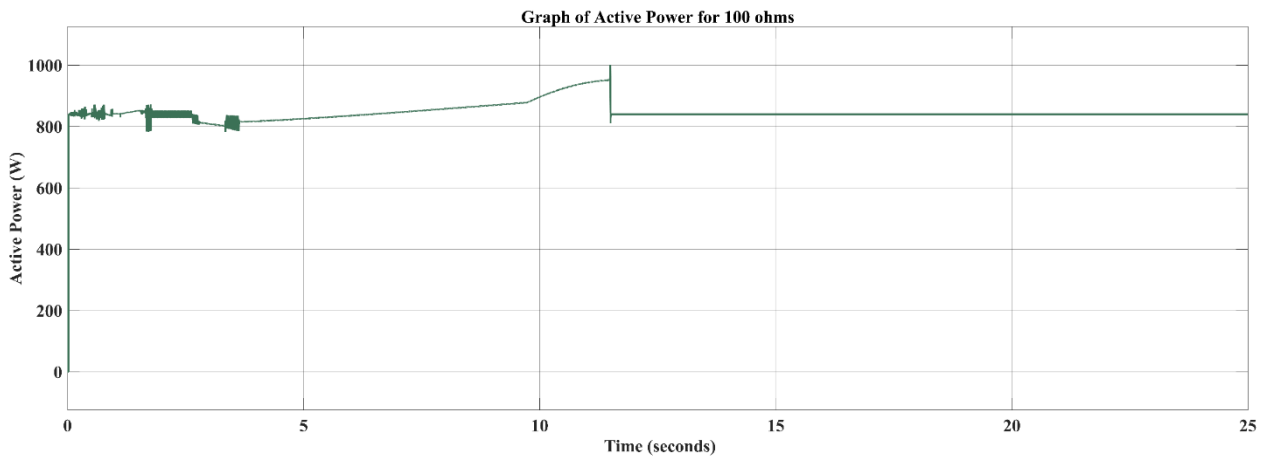


Fig. 13. Graph of Active Power for 100 ohms

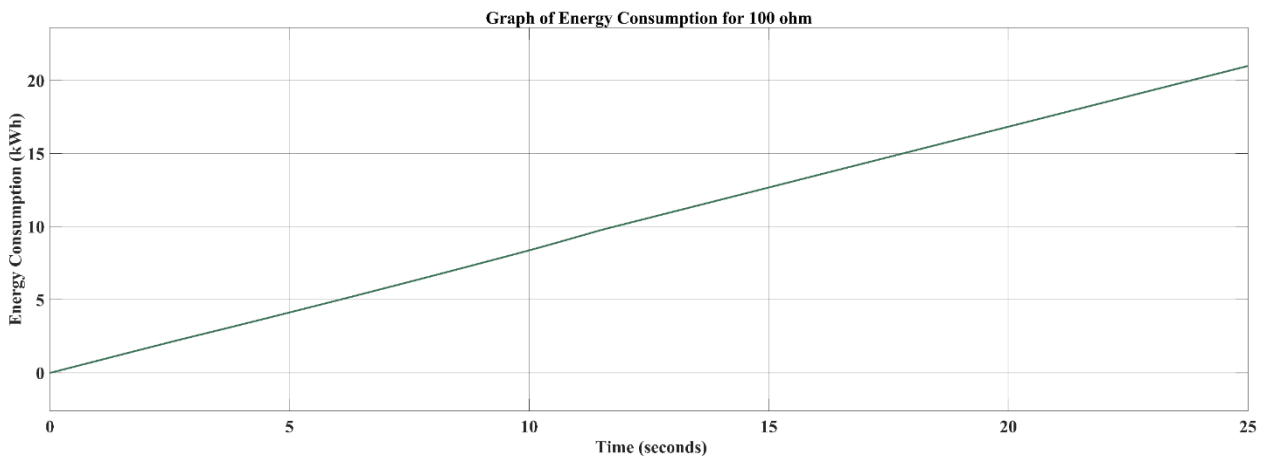


Fig. 14. Graph of Energy Consumption for 100 ohms

As shown in Figure 12, the reactive power graph for 100 ohms shows that the reactive power is 0. This is the model's expected reactive power value for a resistive load. Reactive power in a small range usually does not cause problems in power systems. However, suppose the power factor is low, and the system has a continuous high reactive power. In that case, it reduces efficiency, causes power losses, causes consumers to pay more, and can damage the equipment of power producers. Therefore, power factor management is essential in energy systems. Reactive power compensation systems can be used to improve the power factor. These systems optimize the power factor by balancing the reactive power, allowing energy systems to operate more efficiently.

Figure 13 is the measured active power curve for 100 ohms. It is seen that the active power has a fluctuation parallel to the current and voltage fluctuations in this graph.

When the energy consumed graph for 100 ohms shown in Figure 14 is analyzed, the observed energy curve is smooth and continuous.

3.1.2. R-L Load

In the three-phase energy meter simulation model, measurements under inductive load were performed for constant 100 ohms and varying inductance values. These measurements are given in Table 4. The voltage value is 220 V for all loads.

Table 4. Simulation Results under RL Load

R (Ω)	L (mH)	Current (A)	Power Factor	Active Power(W)
100	0.5	2.21	0.996	841.46
100	1	2.204	0.983	826.84
100	1.5	2.206	0.963	811.76
100	2	2.202	0.934	784.91
100	2.5	2.194	0.897	746.54

Table 4 shows a decline in current, power factor, and active power values as inductance increases. The phase difference between the oscillations of the voltage and current in inductive loads is the cause of this phenomena. The present electrical waveform mirrors the voltage waveform. As a result of this phase change, the current diminishes as the inductance increases. Figure 15 displays the voltage plot of the measurements obtained from the simulation model under RL load conditions, specifically with a resistance of 100 ohms and an inductance of 0.5 mH. Figure 16, on the other hand, shows the current plot.

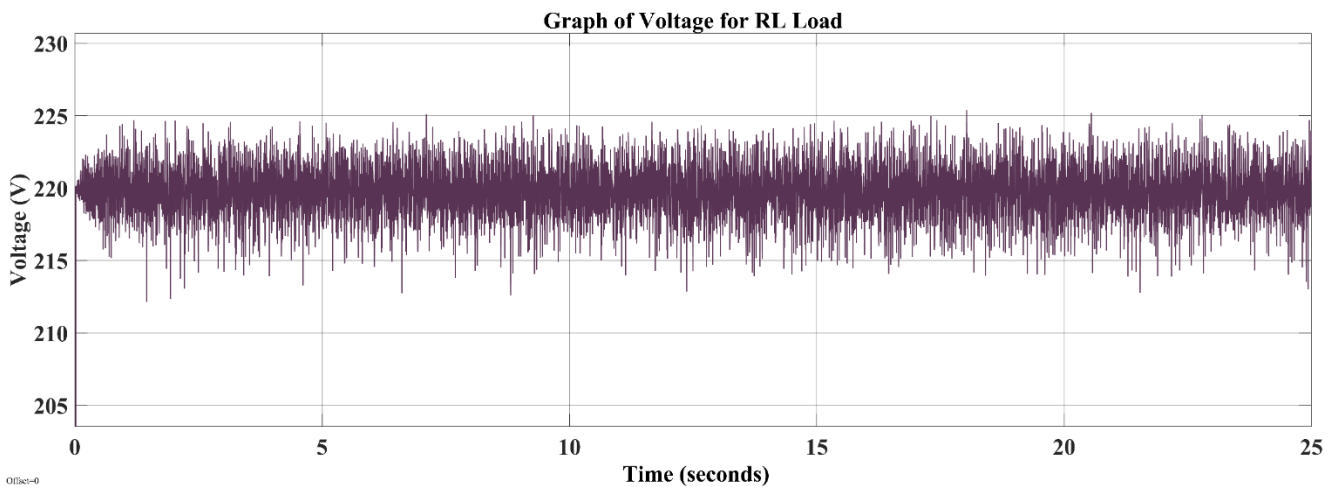


Fig. 15. Graph of Voltage for RL Load

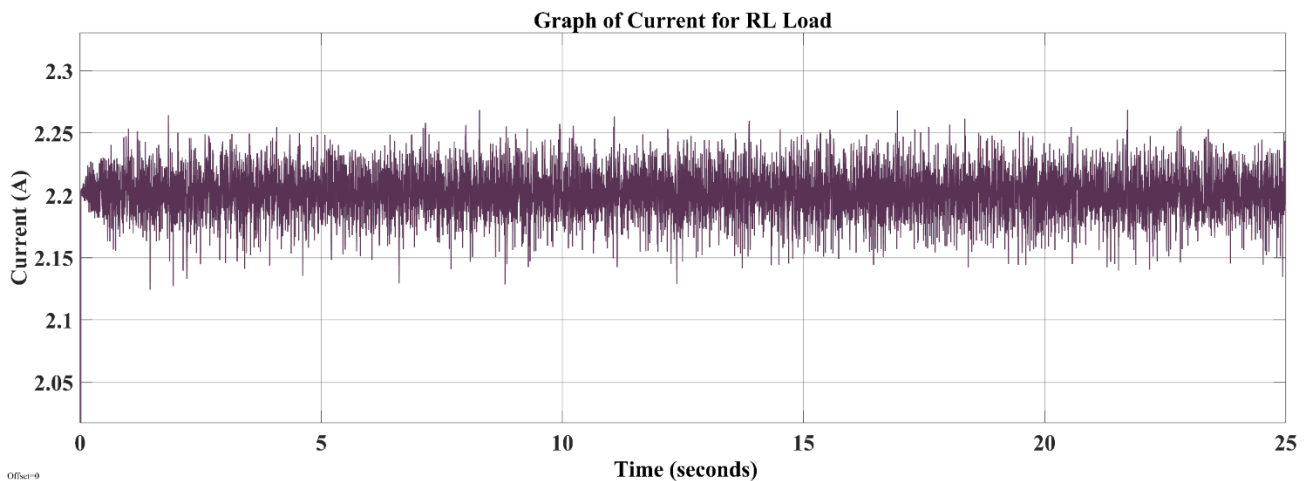


Fig. 16. Graph of Current for RL Load

Since the ratio of active power to reactive power is referred to as the power factor, an increase in reactive power causes a decrease in the power factor. As seen by the power factor graph in Figure 17, the power factor is less than 1 and occasionally fluctuates. It is possible to offset these effects using compensation systems that correct the power factor and increase the active power in inductive loads. These systems enable energy systems to operate more efficiently and reduce energy costs.

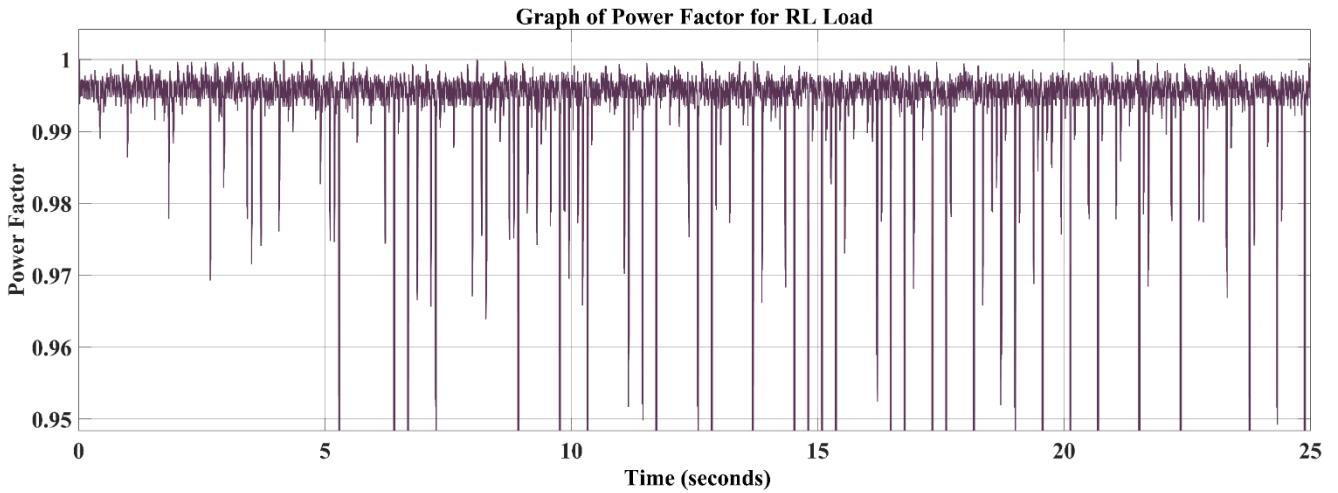


Fig. 17. Graph of Power Factor for RL Load

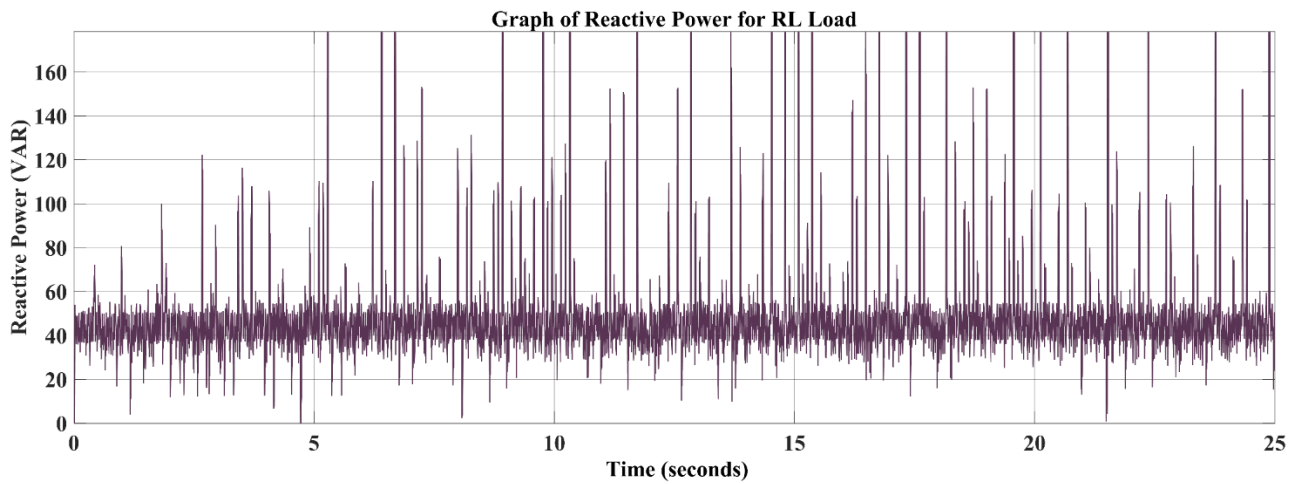


Fig. 18. Graph of Reactive Power for RL Load

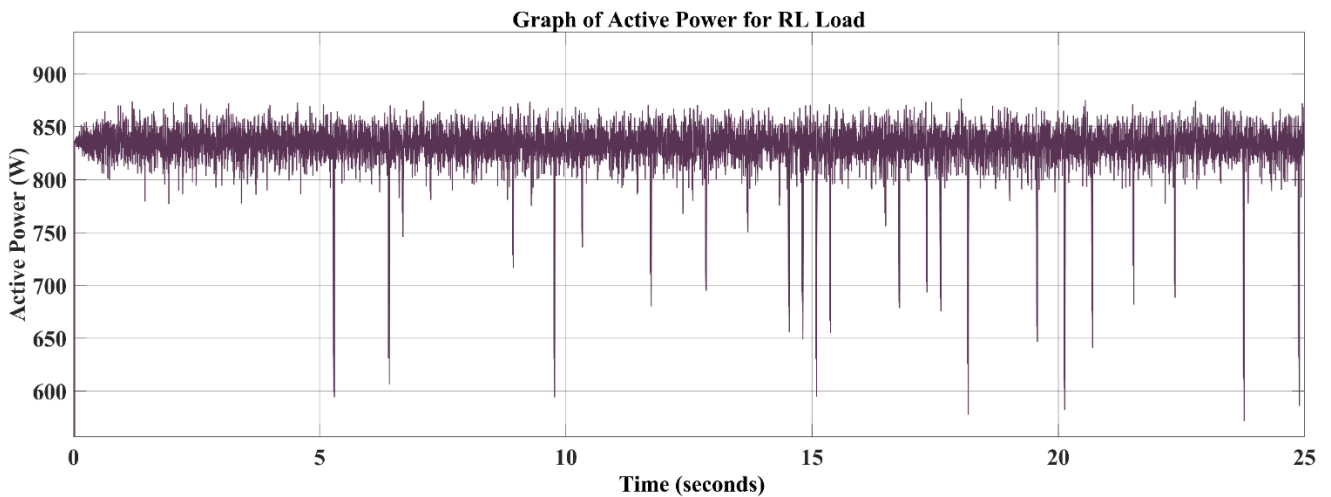


Fig. 19. Graph of Active Power for RL Load

Figure 18 shows the reactive power graph. In an inductive system, the phase angle will be greater than 0, and the reactive power will be positive since reactive power is computed by multiplying the sine of the current, voltage, and phase angle. There are positive swings in the graph and the reactive power value is greater than 0.

Figure 19 shows the graph representing the active power, while Figure 20 illustrates the energy consumption. Fluctuations are observed from time to time in the active power curve. The energy consumption values exhibit a continuous and smooth pattern.

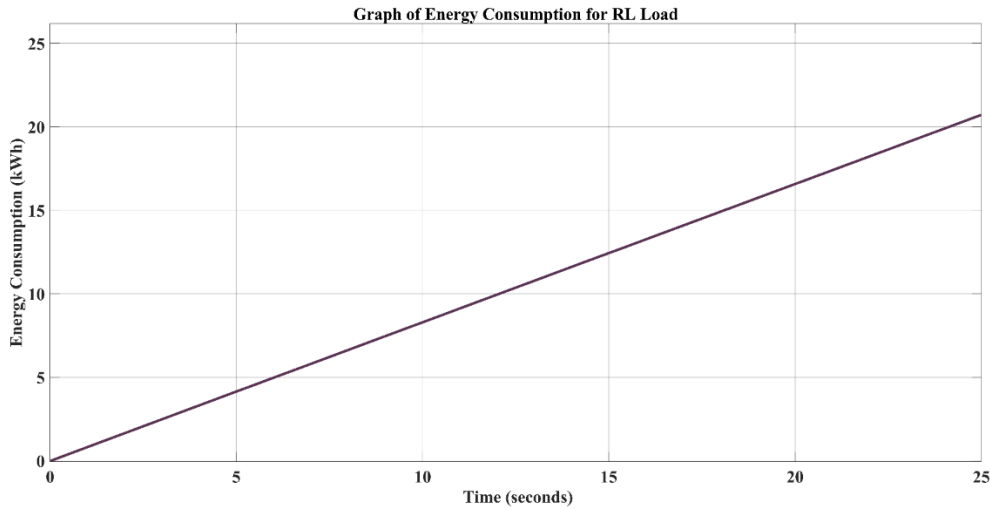


Fig. 20. Graph of Energy Consumption for RL Load

3.1.3. R-C Load

In the three-phase energy meter simulation model, measurements under inductive load are performed for constant 100 ohms and varying capacitance values. Capacitor values are selected by considering the stability conditions obtained from literature studies and simulation results. These measurements are given in Table 5. The voltage value is 220 V for all loads. According to the data presented in Table 5, the current and active power values show a positive correlation with increasing capacitance. The current waveform in capacitive loads occurs before the voltage waveform. Due to the energy stored in capacitors, capacitive loads result in delayed current and voltage alterations.

Table 5. Simulation Results under RC Load

R (Ω)	C (F)	Current (A)	Power Factor	Active Power(W)
100	0.09	2.063	0.986	722.872
100	0.11	2.127	0.998	778.80
100	0.15	2.239	0.997	865.01
100	0.192	2.222	0.999	852.35
100	0.2	2.213	0.999	845.96

Figure 21 shows the voltage graph of the measurements taken under an RC load with a resistance of 100 ohms and a capacitance of 0.11 F. Figure 22, on the other hand, shows the current graph.

Figure 23 shows the power factor, which exhibits continuous fluctuations ranging from -1 to 1. For capacitive loads, the current wave leading to the voltage wave results in a negative phase angle. It can be inferred that the power factor in this specific case will be positive because it is defined as the cosine of the phase angle. The variability in the graph is attributable to the condition of the load.

Figure 25 shows the graph representing the active power. The active power graph exhibits nonlinearity in the case of inductive and resistive load types. The reason for this is the energy storage and release properties of capacitors in capacitive loads. Capacitors utilized in capacitive loads accumulate energy during the highest points of voltage waves and release this energy when the voltage decreases. Fluctuations in the active power curve could stem from changes in the phase angle of the current and voltage waves. Fluctuations in active power can lead to corresponding fluctuations in actual energy consumption. Figure 26 shows the graph illustrating energy consumption.

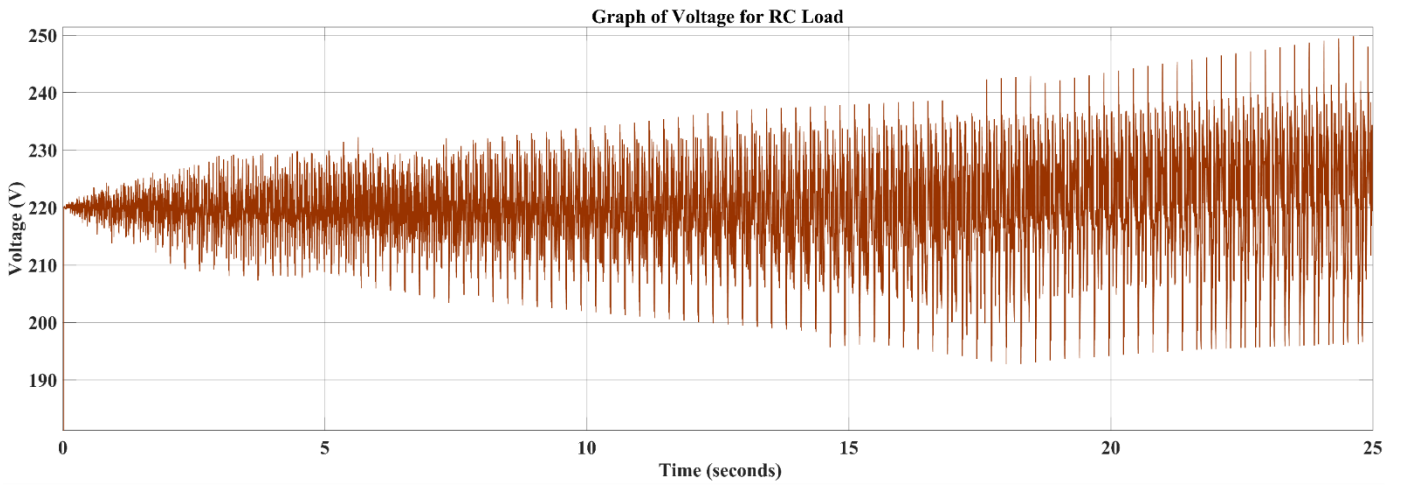


Fig. 21. Graph of Voltage for RC Load

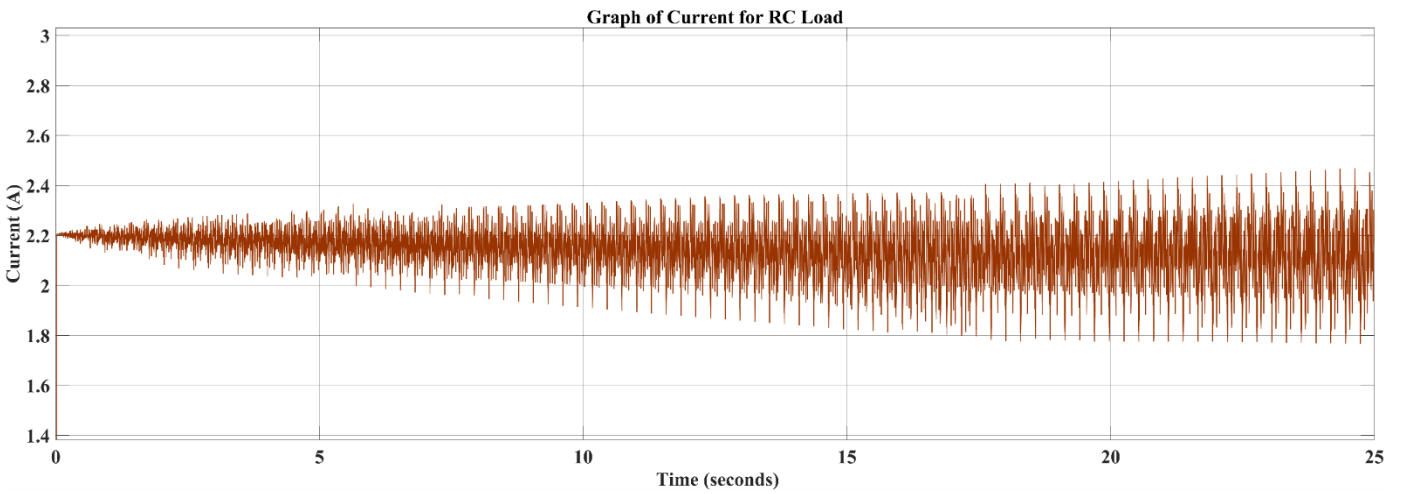


Fig. 22. Graph of Current for RC Load

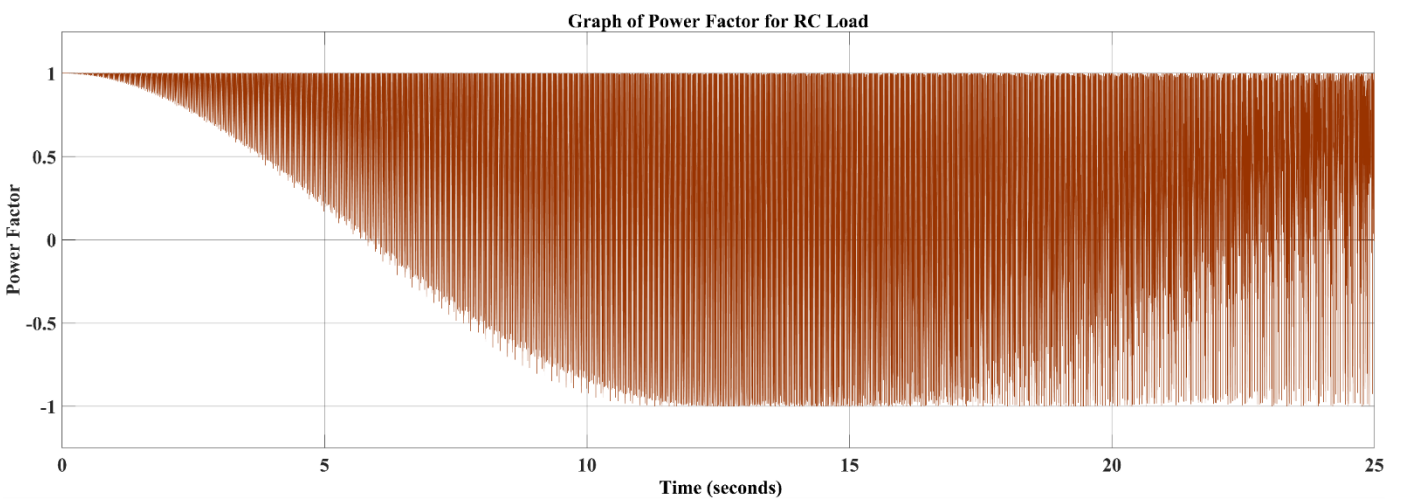


Fig. 23. Graph of Power Factor for RC Load

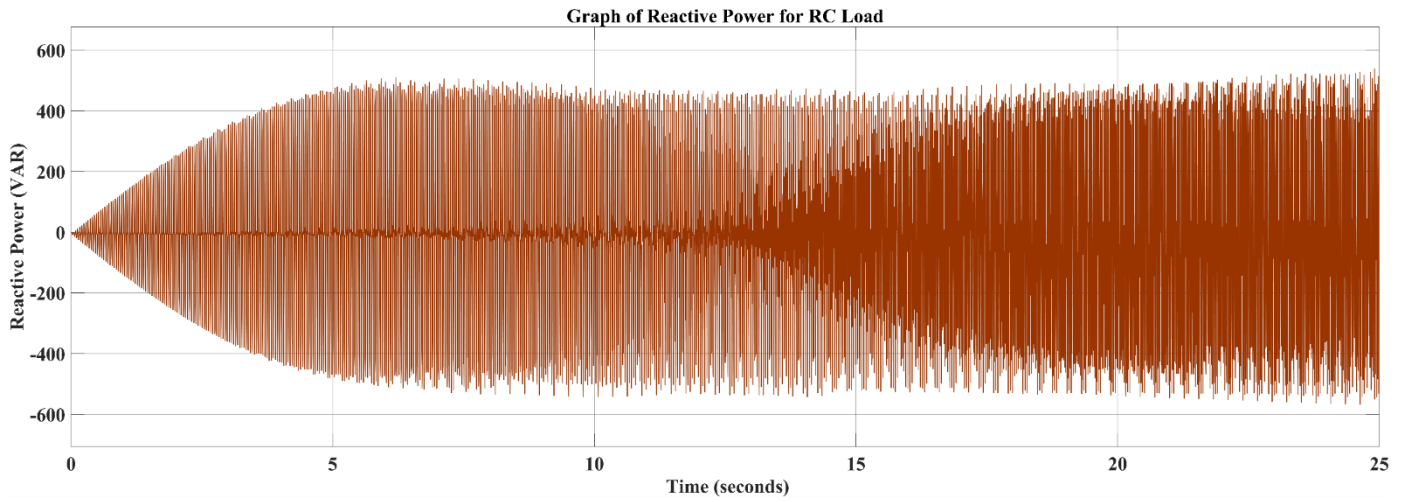


Fig. 24. Graph of Reactive Power for RC Load

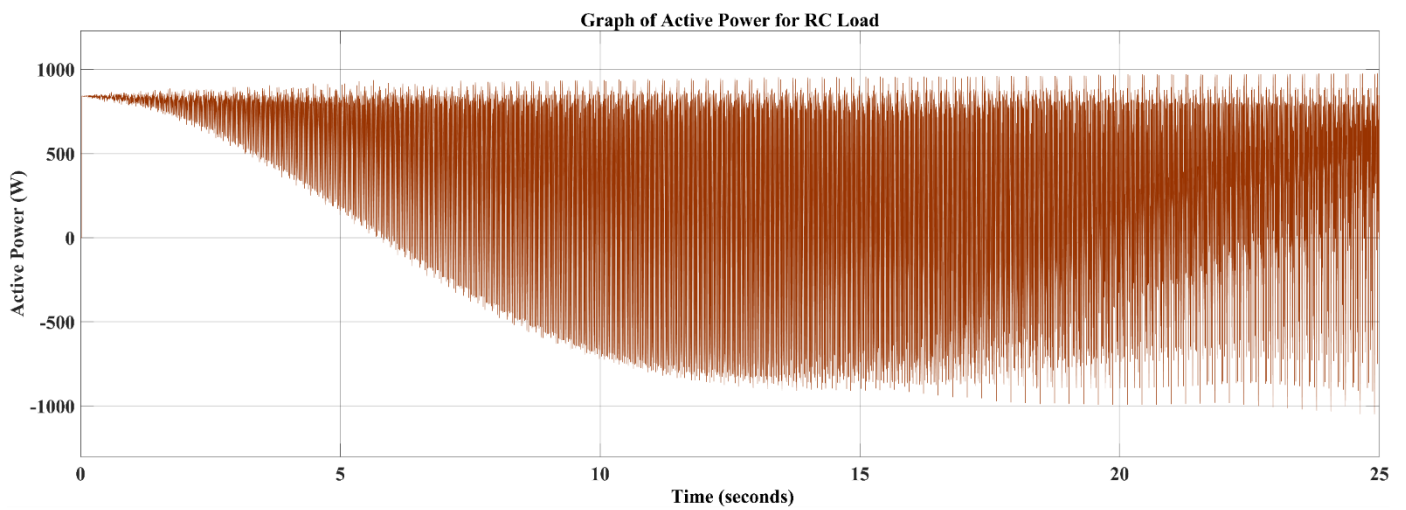


Fig. 25. Graph of Active Power for RC Load

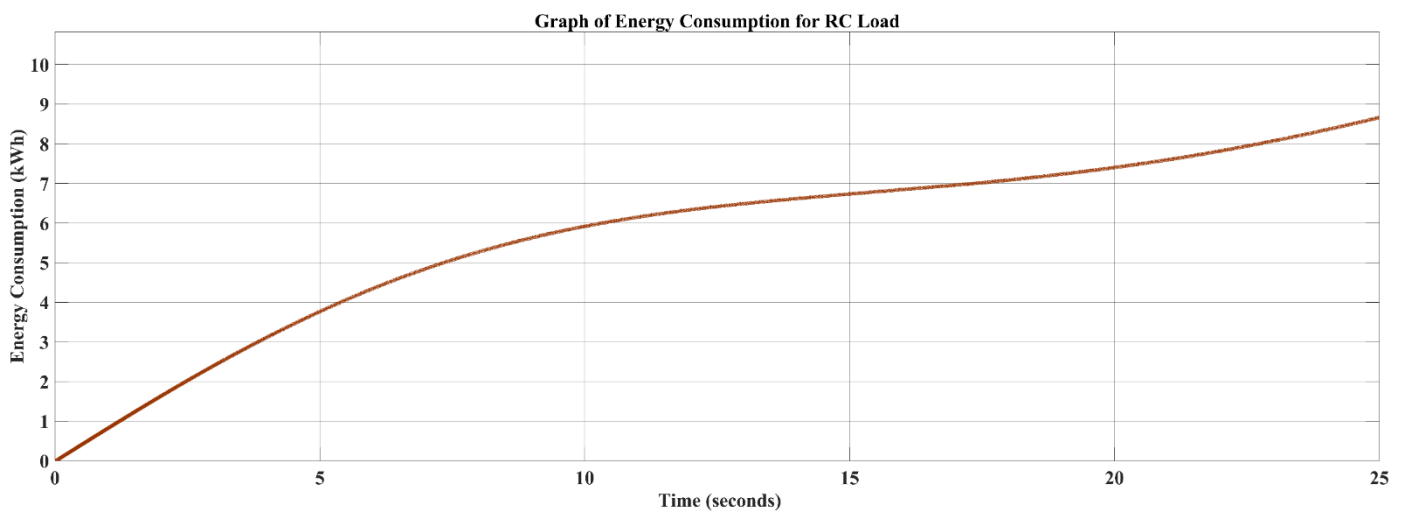


Fig. 26. Graph of Energy Consumption for RC Load

4. Conclusion

This study introduces a MATLAB/Simulink simulation model for three-phase energy meters. The model is validated by conducting energy consumption experiments under various load conditions. The results, comprising measurements obtained from

the model, are meticulously presented in tabular and graphical formats. Furthermore, as a prospective avenue of research, integrating the proposed three-phase energy meter simulation model (3PESM) with smart building energy management systems is suggested. This integration can potentially enhance energy consumption efficiency in residential and commercial buildings. Such integration enables the monitoring and controlling smart building functions and facilitates the management of power-consuming devices. Moreover, leveraging the analytical capabilities of smart meter data, the integrated system can offer insights into the energy consumption and operational patterns of individual household appliances. This information can be utilized to implement energy-saving measures and optimize the energy supply-demand balance within the building infrastructure.

References

- [1] M. Y. Erten and N. İnanç, "Machine Learning Based Short Term Load Estimation in Commercial Buildings," *International Scientific and Vocational Studies Journal*, Dec. 2021, doi: 10.47897/bilmes.1033438.
- [2] Jixuan Zheng, D. W. Gao, and Li Lin, "Smart Meters in Smart Grid: An Overview," in *2013 IEEE Green Technologies Conference (GreenTech)*, Apr. 2013, doi: 10.1109/greentech.2013.17.
- [3] G. R. Barai, S. Krishnan, and B. Venkatesh, "Smart metering and functionalities of smart meters in smart grid - A review," in *2015 IEEE Electrical Power and Energy Conference: Smarter Resilient Power Systems, EPEC 2015*, pp. 138–145, Jan. 2016, doi: 10.1109/EPEC.2015.7379940.
- [4] K. Sharma and L. Mohan Saini, "Performance analysis of smart metering for smart grid: An overview," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 49, pp. 720–735, Sep. 2015, doi: 10.1016/j.rser.2015.04.170.
- [5] G. Dileep, "A survey on smart grid technologies and applications," *Renewable Energy*, vol. 146, pp. 2589–2625, Feb. 2020, doi: 10.1016/j.renene.2019.08.092.
- [6] Q. Sun *et al.*, "A Comprehensive Review of Smart Energy Meters in Intelligent Energy Networks," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 3, no. 4, pp. 464–479, Aug. 2016, doi: 10.1109/JIOT.2015.2512325.
- [7] B. Karaman, S. Taşkin, and M. Tokay, "Gerçek Zamanlı Enerji İzleme ve Tüketici Farkındalığı için LabVIEW™ Programı ile Otomatik Sayaç Okuma," *International journal of advances in engineering and pure sciences* :, vol. 33, no. 2, pp. 225–232, Mar. 2021, doi: 10.7240/jeps.759782.
- [8] R. Bayindir, I. Colak, G. Fulli, and K. Demirtas, "Smart grid technologies and applications," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 66, pp. 499–516, Dec. 2016, doi: 10.1016/j.rser.2016.08.002.
- [9] S. Jurado, À. Nebot, and F. Mugica, "The importance of robust and reliable energy prediction models: Next generation of smart meters," in *SIMULTECH 2020 - Proceedings of the 10th International Conference on Simulation and Modeling Methodologies, Technologies and Applications*, SciTePress, 2020, pp. 248–254. doi: 10.5220/0009885802480254.
- [10] M. Emmanouil, N. Markoulakis, E. N. Antonidakis, and G. S. Stavrakakis, "A Simulink Circuit Model For Measurement Of Consumption Of Electric Energy Using Frequency Method," 2018. [Online]. Available: <https://drive.google.com/file/d/0B0A8uTBvEiQRcGJlbGIO>
- [11] N. Ahmad, W. A. A. Q. I. Wan, and S. S. S, "Enhancement of Single-Phase Energy Meter in Residential Area Using GSM Shield Sim9000 for An Economics and Environment Assessment," *International journal of academic research in economics and management sciences*, vol. 11, no. 3, Aug. 2022, doi: 10.6007/ijarems/v11-i3/14535.
- [12] N. H. Azmi, N. A. Mat Leh, and N. A. Kamaruzaman, "Modeling of energy meter using MATLAB/Simulink," in *2018 9th IEEE Control and System Graduate Research Colloquium, ICSGRC 2018 - Proceeding, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.*, Jul. 2018, pp. 75–80. doi: 10.1109/ICSGRC.2018.8657635.
- [13] R. Malathi and K. Sugasini, "International Journal of Research Publication and Reviews Modeling of Three Phase Energy Meter Using Matlab/Simulink," *International Journal of Research Publication and Reviews*, vol. 3, no. 6, pp. 4808–4815, 2022, [Online]. Available: www.ijrpr.com
- [14] F. Benzi, N. Anglani, E. Bassi, and L. Frosini, "Electricity Smart Meters Interfacing the Households," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 58, no. 10, pp. 4487–4494, Oct. 2011, doi: 10.1109/tie.2011.2107713.
- [15] S. Darby, "Smart metering: what potential for householder engagement?," *Building Research & Information*, vol. 38, no. 5, pp. 442–457, Oct. 2010, doi: 10.1080/09613218.2010.492660.

- [16] V. Umayal Muthu, A. Shunmugalatha, K. Balamurugan, D. S. Aravind, and B. ShanmugaSundarapandi, "Design and Development of Autonomous Smart Energy Meter with Remote Management Control," in *Proceedings of the 2023 2nd International Conference on Augmented Intelligence and Sustainable Systems, ICAISS 2023*, pp. 1782–1785, 2023, doi: 10.1109/ICAISS58487.2023.10250533.
- [17] J. Rosado, F. Cardoso, and M. Silva, "A Low Cost and Highly Parameterizable Energy Meter," in *International Conference on Electrical, Computer, Communications and Mechatronics Engineering, ICECCME 2023*, 2023, doi: 10.1109/ICECCME57830.2023.10252483.
- [18] J. R. A. Jambi, W. K. Wong, F. H. Juwono, and F. Motalebi, "Smart Energy Meter Implementation: Security Challenges and Opportunities," in *2023 International Conference on Digital Applications, Transformation and Economy, ICDATE 2023*, 2023, doi: 10.1109/ICDATE58146.2023.10248469.
- [19] Y. Liu and Y. Gu, "A Metering Device for DC Energy Meters," in *Proceedings of 2023 IEEE 16th International Conference on Electronic Measurement and Instruments, ICEMI 2023*, pp. 239–243, 2023, doi: 10.1109/ICEMI59194.2023.10270441.
- [20] U. A. Rajput et al., "Modeling of Arduino-based Prepaid Energy Meter using GSM Technology," 2018. [Online]. Available: www.ijacsa.thesai.org
- [21] P. H. Zhang, C. D. Xiao, Y. Xue, and X. L. Zhang, "Modeling and simulation of smart meters based on matlab/simulink software," in *Advanced Materials Research*, 2014, pp. 760–763. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.846-847.760.
- [22] X. Fang, S. Misra, G. Xue, and D. Yang, "Smart Grid — The New and Improved Power Grid: A Survey," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 14, no. 4, pp. 944–980, 2012, doi: 10.1109/surv.2011.101911.00087.
- [23] S. S. S. R. Depuru, L. Wang, V. Devabhaktuni, and N. Gudi, "Smart meters for power grid - Challenges, issues, advantages and status," in *2011 IEEE/PES Power Systems Conference and Exposition, PSCE 2011*, 2011, doi: 10.1109/PSCE.2011.5772451.

Advanced Web-Based Customer Taxi Appointment Request System

Emre Avuçlu ^{a,1}, Süleyman Meral ^b

^a Aksaray University, Aksaray, Turkey
ORCID ID: 0000-0002-1622-9059

^b Department of Software Engineering, Faculty of Engineering, Aksaray University, Aksaray, Turkey
ORCID ID: 0009-0002-8000-1216

Abstract

In today's rapidly digitalizing world, significant transformations are also taking place in the service sector. In this context, the taxi industry is also being reshaped by technological innovations. A study was conducted in the literature to reduce traffic congestion. In this study, a web-based online taxi calling and control application was developed. This application was implemented to ensure that users receive safer, faster and more comfortable transportation services. This study aims to prevent security problems that may arise in the taxi industry. Since the application allows the information of the taxi driver and the passenger to be easily visible on the system, it is aimed to prevent situations such as loss of belongings and events that could endanger the life of the taxi driver. With the study, an innovative platform was presented that aims to improve the experiences of both passengers and taxi drivers. Thanks to user-friendly interfaces, users can easily make a taxi appointment and choose the driver they want. This application, which has a dynamic structure, was coded in the PHP programming language.

Keywords: "Taxi, Customer, Security, Appointment."

1. Introduction

Taxi appointment systems are very important for both taxi drivers and customers to avoid wasting time. In such applications, it is also important for customers to be able to choose the taxi driver as they wish. Disruptions in the transportation system caused by traffic density are one of the common problems that many cities have to deal with [1]. Instant or long-term disruptions in traffic may occur due to many reasons, especially in the city center, such as car parks in wrong locations, density of pedestrians and vehicles, lack of sufficient physical infrastructure on the roads, individual vehicle users, etc. Many simulation and analysis processes are carried out by relevant institutions to predict or solve such problems [2,3]. Cui et al. they drew attention to the increase in population and developments in technology in the developing world and its cities [4]. Chen et al. they stated that people's preferences for getting on and off taxis are generally hospitals, shopping malls or city centers [5]. Traffic density, which has become one of the biggest problems of cities day by day, can sometimes reach the highest levels. On the other hand, it is very important to be careful about any problems that may occur in transportation, to work against the problems and to take precautions to protect the sustainability of transportation, which is directly related to the living standards of city residents. Commercial taxis also bring about transportation problems such as insufficient control of businesses, inability to integrate with other means of transportation, and in cases where the demand for commercial taxis is irregular, taxi drivers wander around the city idly, occupying traffic unnecessarily [6]. Öztemiz et al. they stated that traffic problems in residential areas are serious problems that need to be solved [1]. Wong and Szeto stated that the demand for commercial taxis is irregular [7]. In a different study conducted by Engin, it was emphasized that public transportation and taxi service are very important elements in transportation for city residents [8]. A different remotely controlled web-based study was conducted [9].

A detailed and useful web-based application was developed to solve such problems. This application aims to prevent such problems.

¹ Corresponding Author
E-mail Address: emreavuculu@aksaray.edu.tr

2. Material and Methods

The web-based Taxi Management System in this study was developed using PHP, MySQL, HTML, CSS and JavaScript programming languages. From our navigation bar, users can log in, register, view drivers, and send contact e-mails. Admins can also log in from here. The general view of the developed application is shown in Fig. 1.

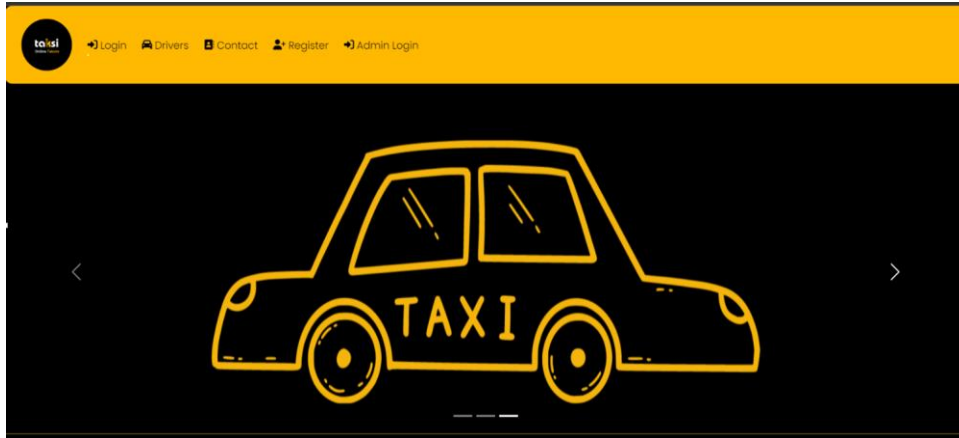


Fig. 1. General interface view

Among the drivers rated by passengers, those with the highest scores are displayed on our homepage. In this way, users are provided with convenience in choosing a driver. In addition, it is aimed to provide better service to passengers by asking drivers to enter their favorite drivers list. The developed favorite drivers interface is shown in Fig. 2.

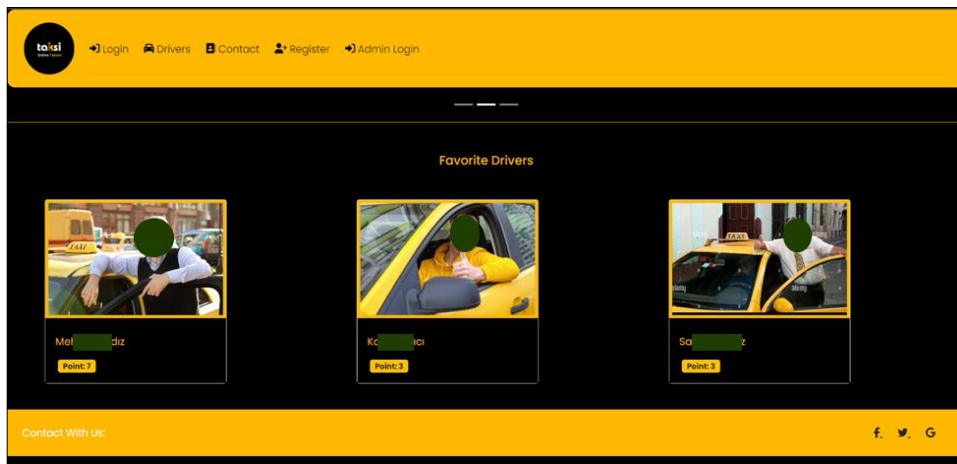


Fig 2. Favorite Drivers Interface

In our drivers interface, drivers added to the system by the admin are listed. The drivers interface is shown in Fig. 3.

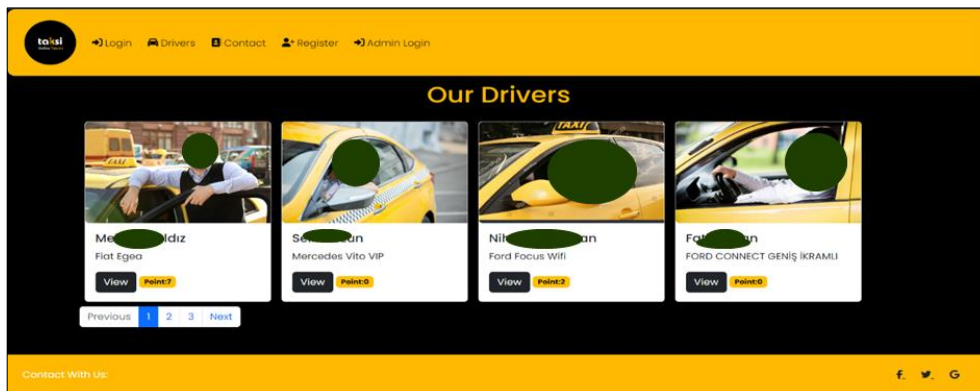


Fig. 3. Drivers Interface

Details of the driver can be seen by pressing the view button. The developed interface is shown in Fig. 4.

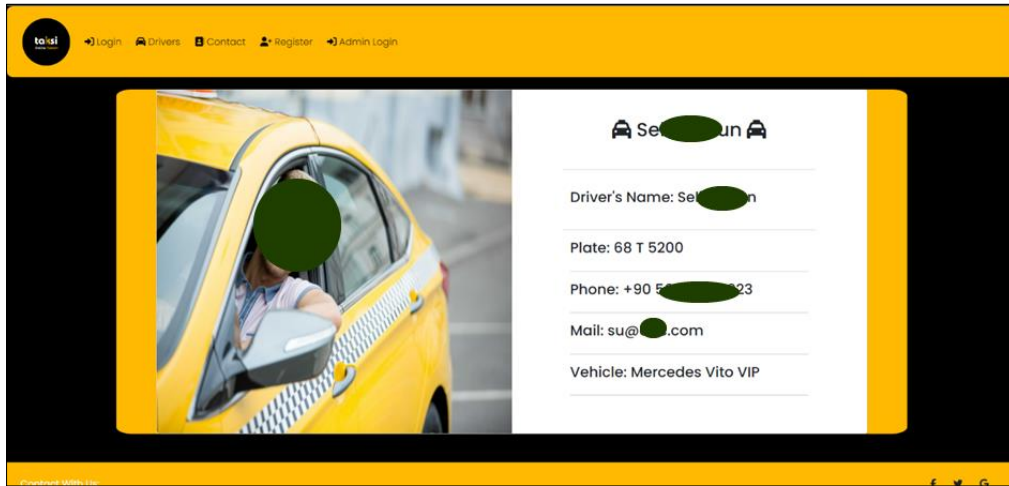


Fig. 4. Driver Detail Interface

Users can give us their opinions on our contact page. The message is sent to the admin via e-mail. The developed interface is shown in Fig. 5.

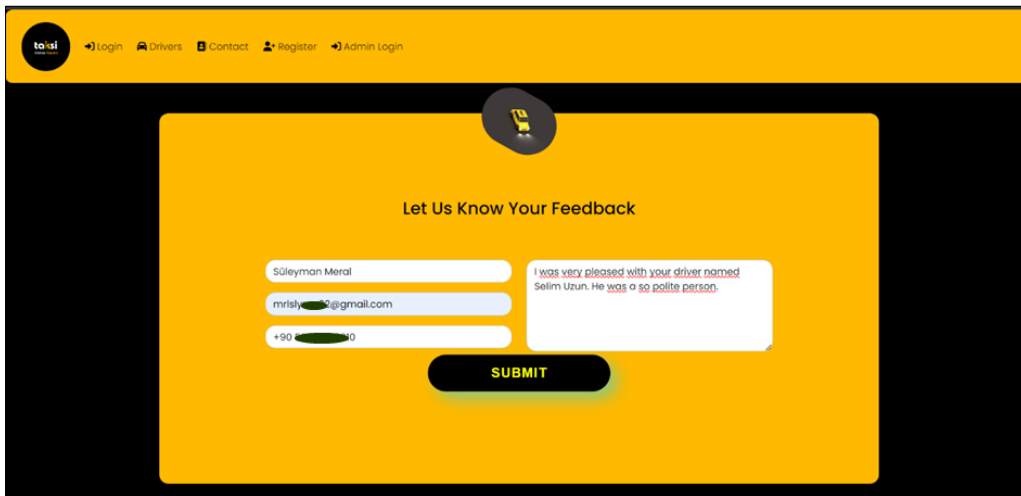


Fig. 5. Communication Interface

The sent e-mail reaches the admin's e-mail address. Users can register to the system by entering their information in the user registration interface. The developed interface is shown in Fig. 6.

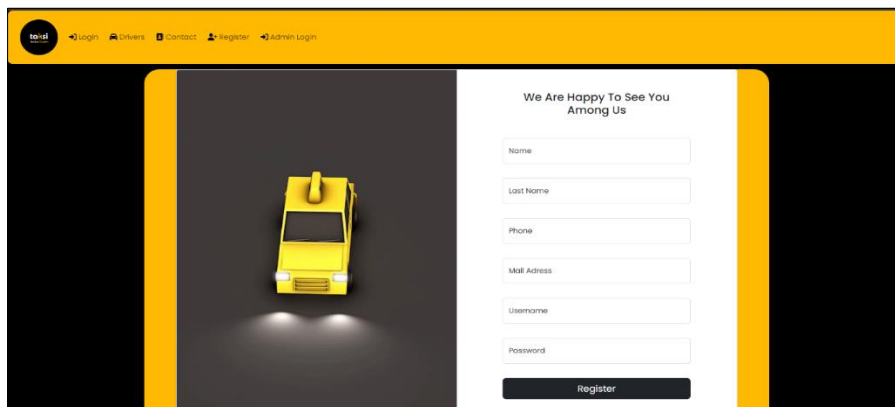


Fig. 6. User Registration Interface

Users can log in to the system with their own username and password. The login screen developed for this is shown in Fig. 7.

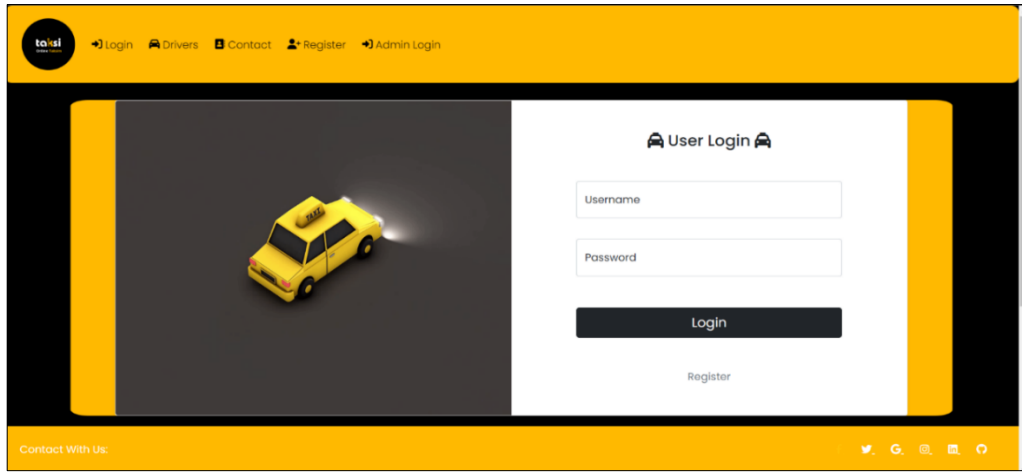


Fig. 7. User Registration Interface

After logging in, users can create, view, cancel and edit appointments. The person's username also appears in the navbar. The developed interface is shown in Fig. 8.



Fig. 8. User Home Page Interface

Admin can determine the appointment date range via the admin panel. Appointment requests are not created outside the date range. The warning is shown to the user via notification as in Fig. 9.

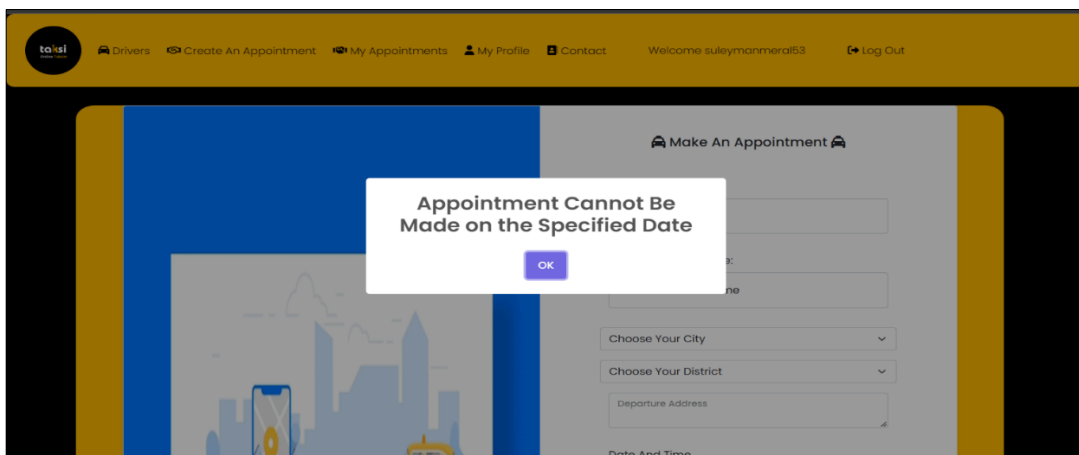


Fig. 9. Invalid Date Notification

After making an appointment, an e-mail is sent to the user and the admin. The user has the opportunity to cancel and edit the appointment until the admin confirms the appointment. The developed appointment booking interface is shown in Fig. 10.

Fig. 10. Appointment Interface

After the appointment is made, the user is notified and the appointment is placed on the My Appointments page awaiting confirmation. This process is shown in Fig. 11.

Id	Username	Name	Dep	Phone	Transactions
54	suleymanmeral53	Süleyman Meral	ANK Kızı	+90 538 377 0310	Düzente İptal Et

Fig. 11. Interface After Making an Appointment

Appointments made by users are sent to the admin via e-mail. As an example, it is shown in Fig. 12.

The user named suleymanmeral53 has created an appointment request. You can see the appointment by clicking on the link. http://localhost/onlineTaksi/admin/ad_randevular.php

Yanıtla Yönlendir 😊

Alıcı: ben
Your appointment has been created successfully and you will be informed after the administrator's approva

Fig. 12. Appointment Email Sent to Admin

The user can cancel the appointment by specifying the reason for cancellation. The reason for cancellation is communicated to the admin via e-mail. The appointment cancellation interface is shown in Fig. 13.

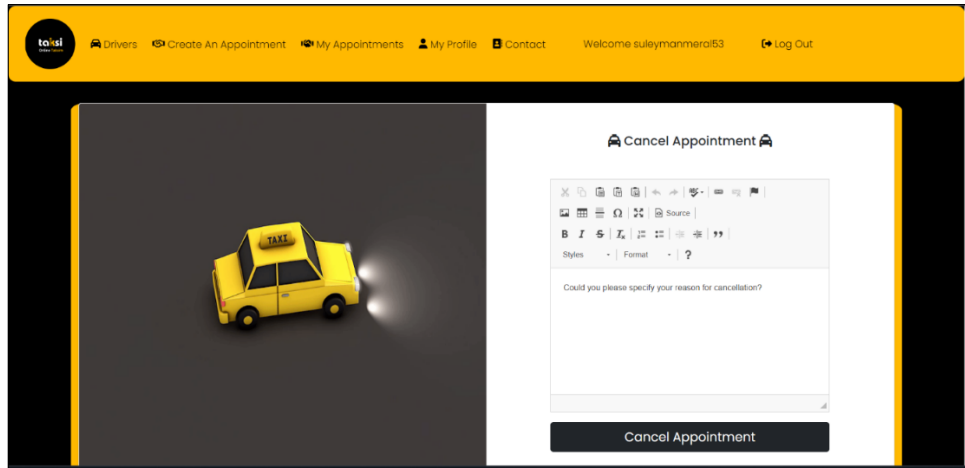


Fig. 13. Appointment Cancellation Interface

Admin logs into the system with username and password from the login screen. The developed admin login interface is shown in Fig. 14.

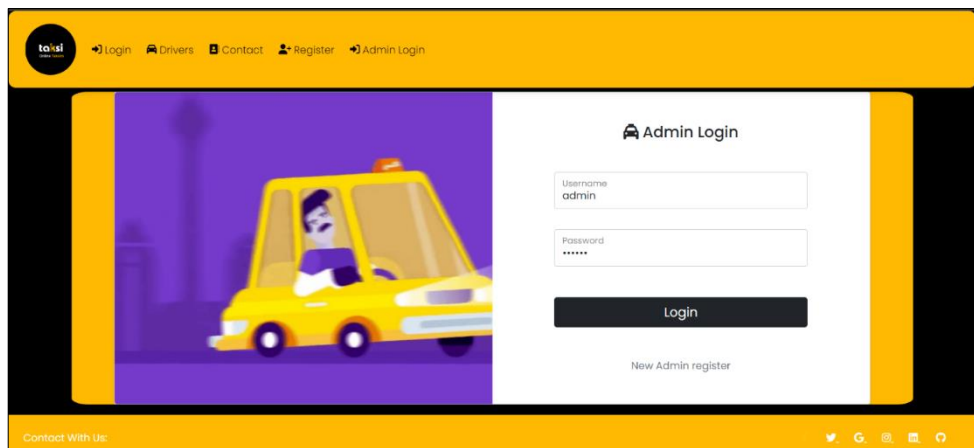


Fig. 14. Admin Login Interface

The admin can view appointments, change the appointment date range, and view driving evaluations from his own panel. The general interface of the admin page is shown in Fig. 15.

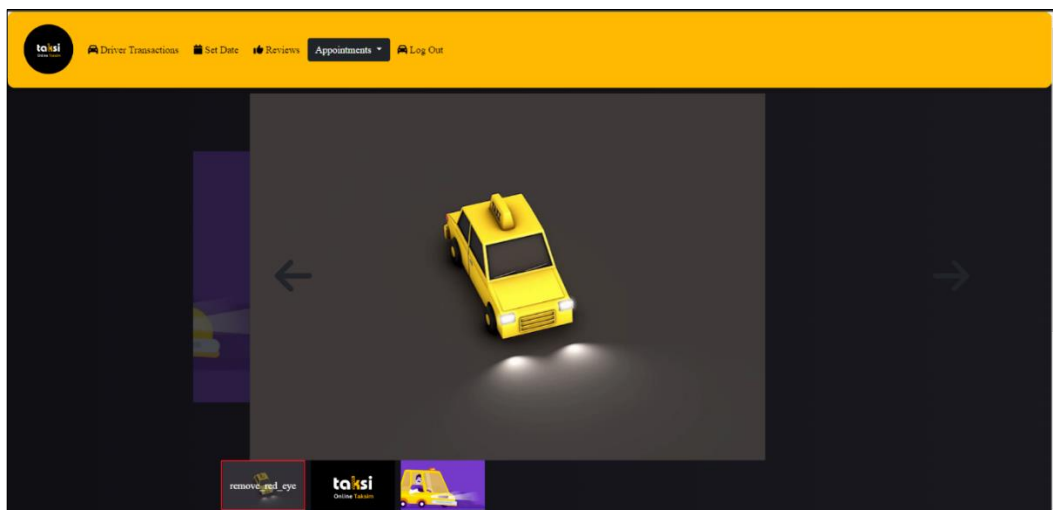


Fig. 15. Admin Page General Interface

Admin can determine the appointment date range from the date setting section. The interface developed for this is shown in Fig. 16.

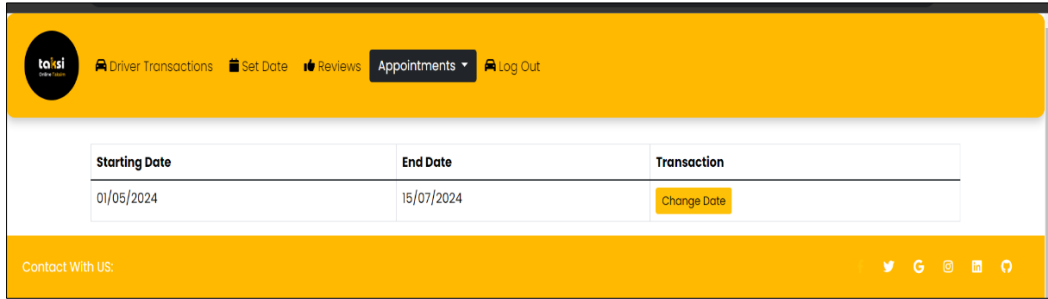


Fig. 16. Date Setting Interface

The appointment date range can be changed from the change date button. The developed interface is shown in Fig. 17.

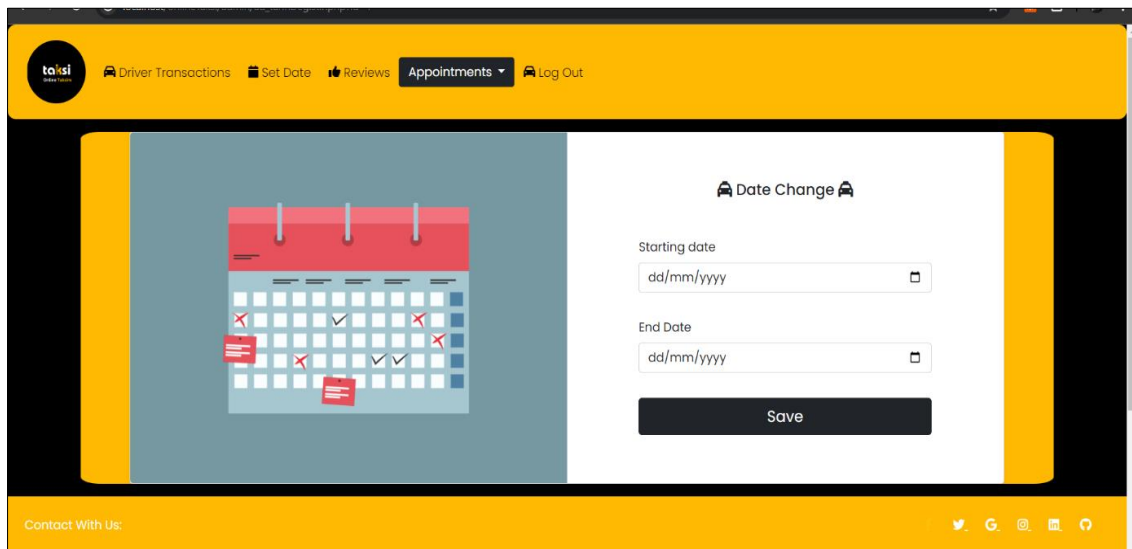


Fig. 17. Date Change Interface

Admin can add drivers to the system, delete drivers and make edits from the driver transactions section. The developed driver operations interface is shown in Fig. 18.

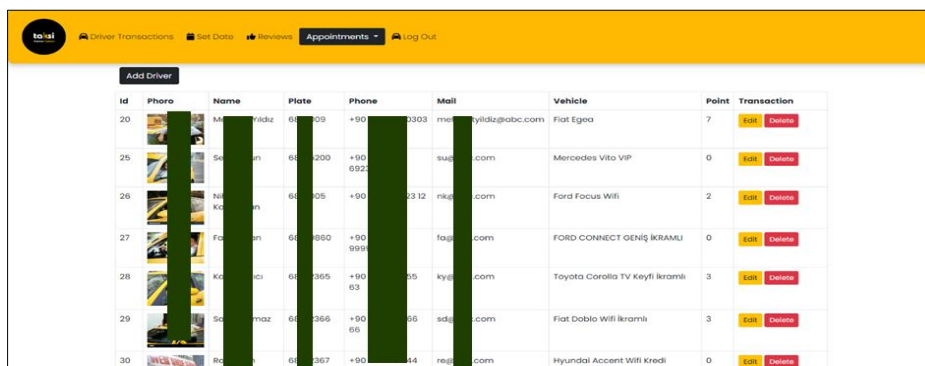


Fig. 18. Driver Operations Interface

Admin can add new drivers to the system via the driver adding interface. The developed interface is shown in Fig. 19.

Fig. 19. Driver Addition Interface

Admins can see the reviews in the reviews section. The interface developed for this is shown in Fig. 20.

Randevu Id	Driver	Şoförün Size Karşı Davranışı	Araç Konforu	Şoförü Tavsiye Ederim	Sürüşten Memnun Kaldım	Tekrar Online Taksi Kullanırım	Uygulama Hızı
27	M	3	3	3	3	2	3
31	M	3	2	2	3	3	3

Fig. 20. View Reviews Interface

Admin can change the questions from the evaluation questions changing interface. The developed interface is shown in Fig. 21.

Question 1	Question 2	Question 3	Question 4	Question 5	Question 6	Transaction
Şoförün Size Karşı Davranışı	Araç Konforu	Şoförü Tavsiye Ederim	Sürüşten Memnun Kaldım	Tekrar Online Taksi Kullanırım	Uygulama Hızı	Change

Fig. 21. Evaluation Questions Changing Interface

Appointments made by users are displayed on the appointments pending approval page of the admin. Admin can approve or reject the appointment from here. The reason for rejection is communicated to the user via e-mail. The interface for appointments awaiting approval is shown in Fig. 22.

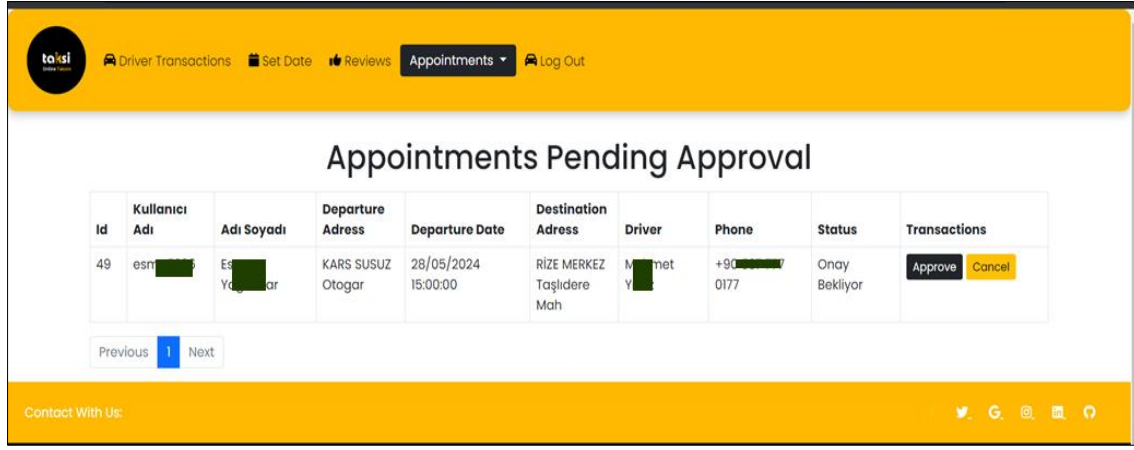


Fig. 22. Admin Appointments Pending Approval Interface

Confirmed appointments appear on the active appointments page. An e-mail is sent to both the admin and the user 1 hour before the appointment. Admin can end the appointment from this screen. When the appointment ends, it can be viewed on the past appointments page. And an e-mail is sent to the user to rate the appointment. The developed confirmed appointments interface is shown in Fig. 23.

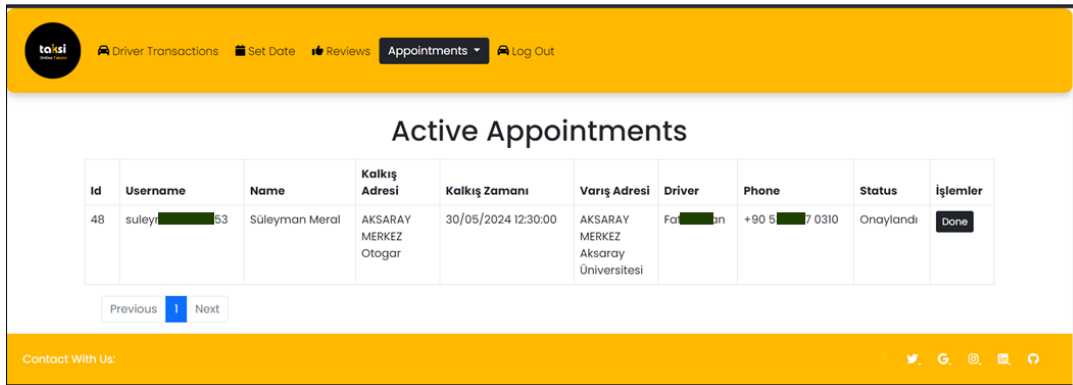


Fig. 23. Admin Approved Appointments Interface

Users can view their completed appointments on the My Past Appointments page. They can score from here. The developed My Past Appointments interface is shown in Fig. 24.

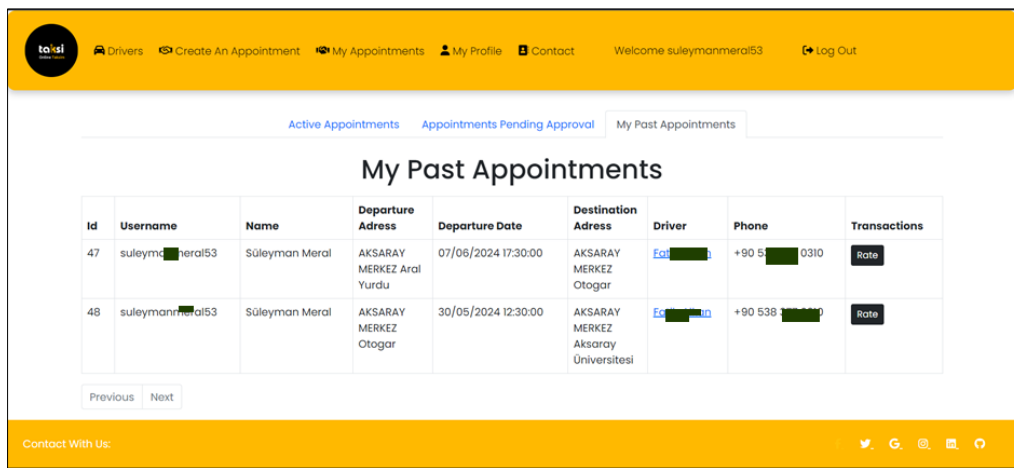


Fig. 24. User History Appointments Interface

The scoring result is averaged and the selected driver's score is updated. Evaluation results are also sent to the admin via e-mail. The scoring interface is shown in Fig. 25.

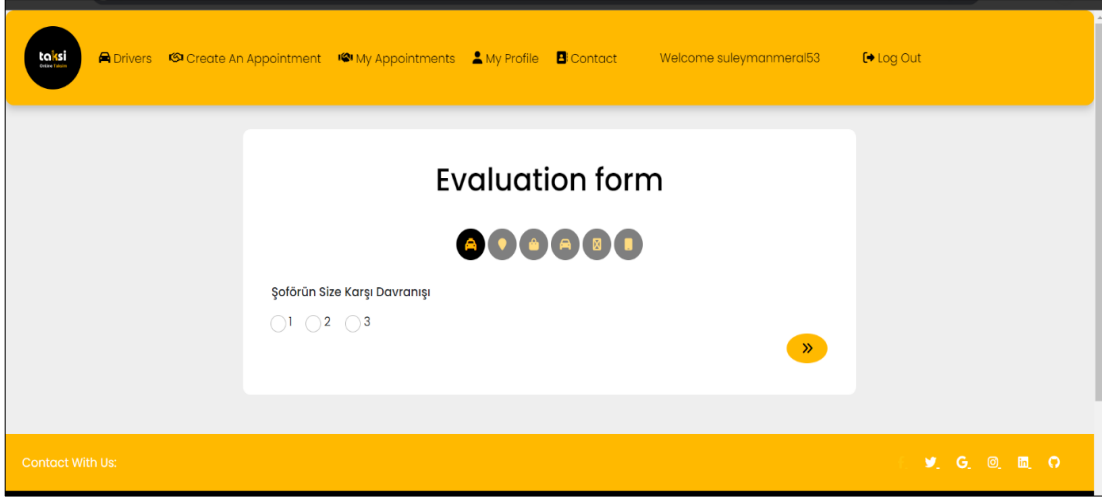


Fig. 25. Appointment Scoring Interface

Users can view their profile and change their personal information from the My Profile tab. The developed profile interface is shown in Fig. 26.

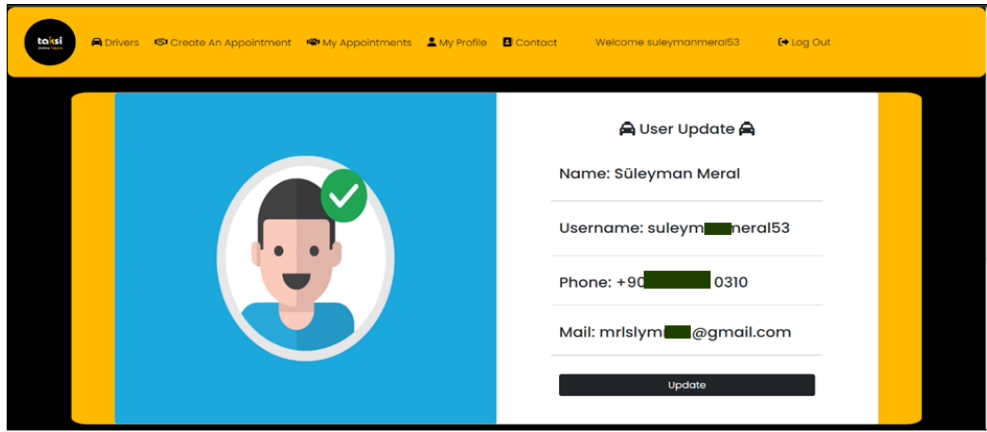


Fig. 26. My User Profile Interface

3. Conclusions and Future Works

As a result, our online taxi web application facilitates people's daily lives by offering them easy, fast and comfortable transportation. Users can plan their future work more easily by making appointments in advance. They do not face the problem of not finding a taxi. Thanks to its user-friendly interface and advanced features, it optimizes the business processes of both passengers and taxi stands. It prevents security problems that may arise in today's conditions by safely displaying driver and user information in the system. In case of losing their personal belongings, users can see the vehicle they used to ride, the driver of the vehicle and the driver's contact information through the application. In this way, they can cope with this situation without any problems. Additionally, thanks to the integrated scoring system, taxi stands can determine their favorite drivers and constantly improve their service quality. With this web-based application, the innovations we have brought to the taxi industry make a significant difference in the sector by responding to modern needs. In future applications, artificial intelligence support may be used in taxi driver recommendations.

References

- [1] F. Öztemiz, M. Duran, and A. Karci, "Kent Merkezindeki Taksilerin Oluşturduğu Trafik Yoğunluğunun Azaltılması İçin Bir Çalışma," *Uluslararası Bilim Teknoloji ve Tasarım Dergisi*, vol. 3, no. 2, pp. 102–115, Dec. 2022.
- [2] S. Güner, "Operational Efficiency and Service Quality Analysis in Public Transportation Systems," *Journal of Transportation and Logistics*, Nov. 2017, doi: 10.22532/jtl.358727.

- [3] E. N. Çinicioğlu, M. Atalay, and H. Yorulmaz, "Trafik Kazaları Analizi için Bayes Ağları Modeli," *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, vol. 6, no. 2, pp. 41–53, May 2013, doi: 10.17671/btd.22403.
- [4] J. Cui, F. Liu, D. Janssens, S. An, G. Wets, and M. Cools, "Detecting urban road network accessibility problems using taxi GPS data," *Journal of Transport Geography*, vol. 51, pp. 147–157, Feb. 2016, doi: 10.1016/j.jtrangeo.2015.12.007.
- [5] X.-J. Chen, Y. Wang, J. Xie, X. Zhu, and J. Shan, "Urban hotspots detection of taxi stops with local maximum density," *Computers, environment and urban systems*, vol. 89, pp. 101661–101661, Sep. 2021, doi: 10.1016/j.compenvurbsys.2021.101661.
- [6] H. Beşiktaş, "Erzincan İli Ticari Taksi Kullanımının Ve Duraklarının Teknik Analizi", Msc. Thesis, Erzurum Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, Turkey, 2024.
- [7] R. C. P. Wong and W. Y. Szeto, "The effects of peak hour and congested area taxi surcharges on customers' travel decisions: Empirical evidence and policy implications," *Transport Policy*, vol. 121, pp. 78–89, Jun. 2022, doi: 10.1016/j.tranpol.2022.03.008.
- [8] T. Engin, "İstanbul Ticari Taksi Hizmeti Üzerine Ulaşım Politikası Çözümleri," *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, vol. 5, no. 1, Mar. 2022, doi: 10.51513/jitsa.1066953.
- [9] M. Durgun and L. Gökrem, "Remote-Controlled Affordable Solenoid Valve Design and a Web-Based Approach to Its Implementation," *International scientific and vocational studies journal*, vol. 7, no. 2, pp. 206–212, Dec. 2023, doi: 10.47897/bilmes.1404670.

A Web-Based Advanced Law Firm Tracking System Application For Lawyers

Emre AVUÇLU^{a1}, Selin YALÇIN^a

^a Aksaray University, Aksaray, Turkey

ORCID ID: 0000-0002-1622-9059, ORCID ID: 0009-0008-7246-2040

^aDepartment of Software Engineering, Faculty of Engineering, Aksaray University, Aksaray, Turkey

Abstract

Law office tracking system is a digital solution used in today's legal practice to ensure that work is carried out efficiently and regularly. With the rapid development of technology, law offices also save time and resources by moving their transactions to digital platforms. These systems offer many functions such as case tracking, client management, document archiving, calendar and appointment management, alleviating the workload of lawyers and allowing them to work more strategically. Modern law firms can manage client relationships more effectively by using these systems. They make litigation processes more transparent and traceable and minimize the error rate. Especially in large-scale offices, it has become almost impossible to carry out critical functions such as file tracking and process management using manual methods. For this reason, digital tracking systems both increase the competitiveness of offices and increase the quality of legal services. In this study developed in web-based PHP language, an application that provides solutions to all these problems has been developed and this application is explained in detail.

Keywords: "Office Tracking System, Lawyer, File Tracking."

1. Introduction

In today's world, where information technologies have become an indispensable part, it has become mandatory to benefit from such technologies in all kinds of business and operational processes. It is essential for the state to save both time and expense while providing public services. Information technologies have begun to be widely used in the public sphere so that citizens can access the government online whenever they want [1]. Online tracking systems are necessary for the state to fulfill its duties towards citizens in an electronic environment quickly, securely and transparently [2]. Undoubtedly, one of the most important pillars of such online projects is the e-justice project. With the e-justice project, it is aimed to create an information network that will cover all judicial bodies throughout Türkiye [3]. In online tracking systems, citizens will be able to access public services electronically, thus the speed of public activities will be increased [4]. Similarly, information exchange between public institutions will be possible electronically, and as a result, the auditability of public institutions will be facilitated [5]. Digital applications are gaining importance for companies to interact with their customers on different issues such as informing, creating awareness and persuading [6]. The growth and development in digital devices continues rapidly. It is estimated that the number of people using tablets will reach 1.43 billion and the number of people using smartphones will reach 2 billion in 2018 [7]. The number of objects connected to the Internet is expected to reach 25 billion by 2020 [8]. In transactions made on the Internet, the most needed issue is security. To address these problems, digital signatures have been developed worldwide [9]. In order to solve such problems, a transition was made from the classical state approach to the electronic state approach [10]. It follows digital developments in different sectors. Similarly, insurance companies respond to customer expectations by developing digital solutions. Most insurance customers do research online before going to agents or brokers. For this reason, there is a need for applications where digitalizing companies can find solutions for their customers. In order to find solutions to similar problems, these customers follow comments on social media sites and use blog posts as a guide [7]. Digital transactions cover many different services. These services are informational services, accounting, brokerage and support services [11]. Digital applications create more efficient processes by making customer experiences interactive. It enables the formation of customers' behaviors and attitudes in the areas of customer satisfaction, customer retention, customer loyalty and customer purchasing [12]. Different web-based studies were conducted in different areas [13-14]. Different management studies were carried out in different areas [15-16]. For this reason, digital applications are of great importance for companies in every field. In this study, a web-based application that provides solutions to such problems was developed for law offices.

Not using law firm tracking systems can lead to a number of operational and administrative problems:

¹Corresponding Author

E-mail Address: emreavuclu@aksaray.edu.tr

Loss of Time: Searching and finding documents manually can lead to loss of time in following up the litigation processes. This causes lawyers to spend less time with clients.

Errors: Manual recording and document management increases the likelihood of errors occurring. For example, incorrectly recording a hearing date can have serious consequences.

Decrease in Productivity: Not taking advantage of the automation opportunities offered by technology reduces the efficiency of business processes and increases the workload of employees.

Client Satisfaction: Failure to manage litigation processes effectively may lead to client dissatisfaction. Clients want to receive regular and accurate information about the status of their cases.

Law firms are professional organizations with complex and intensive business processes. Managing these processes efficiently is critical for both client satisfaction and reducing the workload of office employees. The opportunities offered by today's technology make it possible to manage these processes through digital platforms. This study aims to examine how a law office tracking system developed with PHP can increase the operational efficiency of law offices and to eliminate the problems that may be encountered if such systems are not used.

2. Material and Methods

PHP is a programming language widely used to develop web-based applications. The law office tracking system developed with PHP aims to facilitate litigation processes, customer relations and document management.

The main features of the web-based application developed in this study are:

Case Management: Storing and managing case files, hearing dates and case-related documents in digital environment.

Customer Relationship Management: Keeping client information and contact records in a central database.

Document Management: Digital archiving of all documents used by the law firm and quick access when necessary.

Law office tracking systems developed with PHP allow lawyers to manage their business processes more efficiently and error-free. If such systems are not used, time losses, errors and efficiency problems may negatively affect the overall performance of law firms.

In order to eliminate such problems, the interfaces of the dynamically developed web-based legal tracking system are introduced and explained respectively. The general interface of the application is shown in Figure 1.

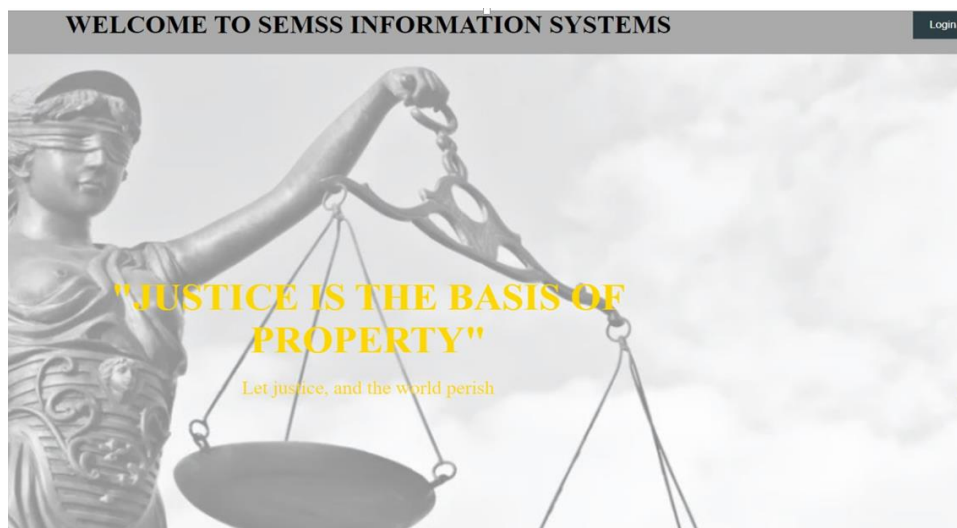


Figure 1. General interface view

Users who purchase this application can access their information and files by correctly entering the username and password given by the seller with the login button. Username, Password and TR number are registered in the database. If the information entered is incorrect, you will be redirected to the login screen. Figure 2 shows the Login Screen of the application.

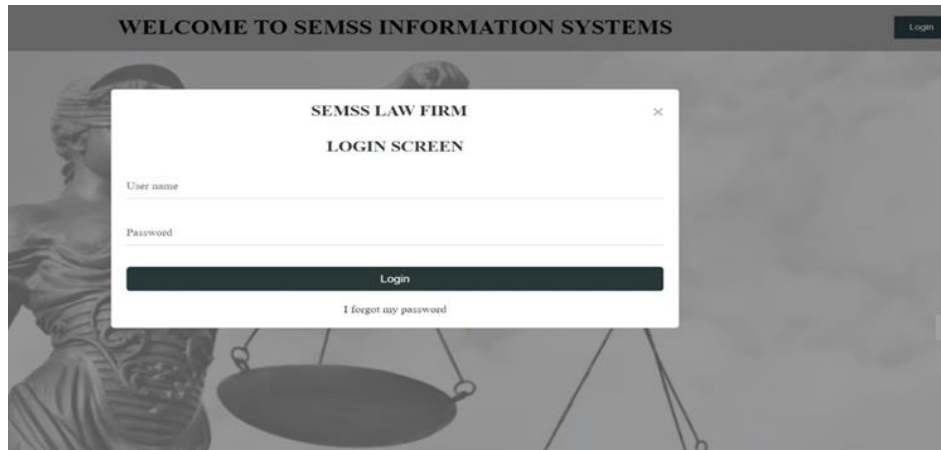


Figure 2. Login Screen

If the information entered is correct, the information panel opens. First, the page displaying the user's personal information opens. This information is based on the TR Number information kept in the database. Figure 3 shows the page displaying the ID and Address information of the application.

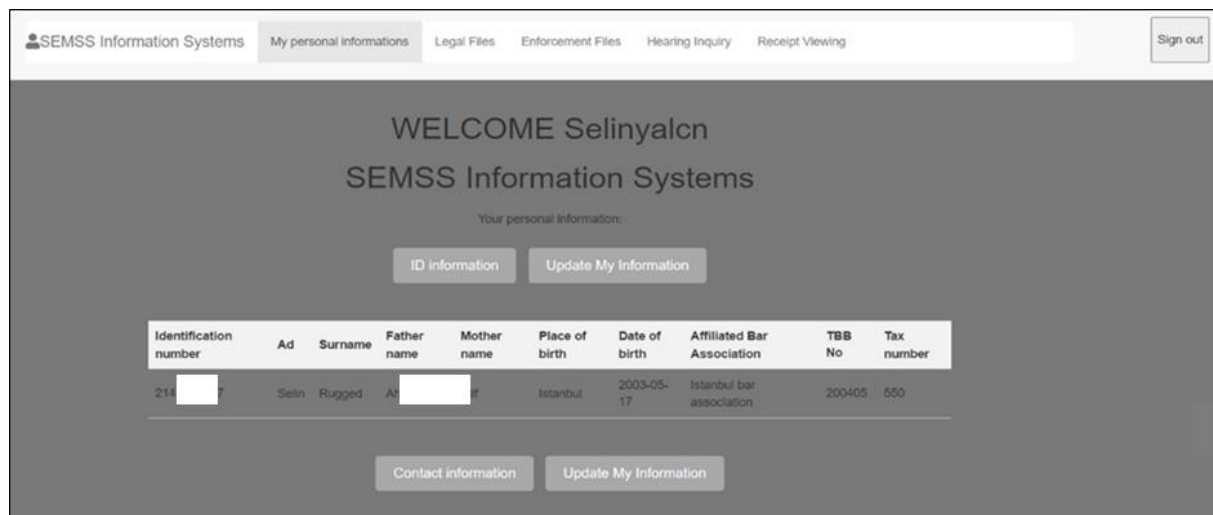


Figure 3. Identity and Address Information

Identity information, as well as the bar association to which the lawyer is affiliated, TBB Number and Tax Number information are also kept. Adding this information is so that the lawyer can update his information in case of any bar association changes. Figure 4 shows the page that updates the application's ID information.

Update My Information

Ad	S i
Surname	Y in
Father name	A et
Mother name	E
Place of birth	İs tbul
Date of birth	2003-05-17
Affiliated Bar Association	İstanbul barosu
TBB No	200405
Tax number	550
<input type="button" value="Save"/>	

Figure 4. Updating Credentials

Contact information can also be viewed and updated. The user can see his/her information when renewing any phone address or e-mail, and this information is kept in the database according to the TR Number information. Figure 5 shows the page displaying the Contact Information of the application.

WELCOME Selinyalcı

SEMSS Information Systems

Your personal information:

My Contact Information

Address	Email	Telephone No
Şahin Mahallesi 133 sk. No:45 İstanbul	selin.yalcin00@gmail.com	5346245102

Figure 5. Viewing Contact Information

Figure 6 shows the page that updates the Contact Information of the application.

Contact information Update My Information

Update My Contact Information

Address

Email

Telephone No

[Update](#)

Figure 6. Updating Contact Information

The user can view all the Legal files he/she has received. All information about legal files such as plaintiff, defendant, case date, case subject, court, file status can be viewed and updated. Figure 7 shows the page displaying the legal files of the application.

LEGAL FILES								
ID	Plaintiff	Defendant	Case History	Subject of the Case	Court	This no	File Status	Transactions
1	Game Sun Alökmen	Nu...	2024-08-08	Divorce (Divorce due to the foundation of the marital union is shaken (Conte...))	Istanbul 5th Fam Court	2022676	Hearing date has been given, preliminary examination hearing will be held	Update
2	Meral Gökdağ	Tu... Ahmet (...sya)	2024-08-09	Deed Cancellation and Registration Case	Istanbul 2nd Fam Court	2022675	A decision of non-jurisdiction was made. It was decided to lift the sequestration on the real estate.	Update
3	Zeynel Demir	Ec...	2024-07-05	Divorce (attering the foundations of the marriage union (sensual))	Istanbul 6th Fam Court	2022711	Case Valued	Update
4	Mungan's weight	Ze...	2024-07-20	Unfair Competition (Ecrimisil)	Istanbul 11th Civil Court of First Instance	2022255	Trial Continues	Update
5	Eren Erdoğan	Gö... amüller Food Transportation Construction Advertising Printing House Organization Marketing Industry and Trade Limited Company	2024-06-30	Workers' Receivables			Warning letter sent	Update

Figure 7. Viewing Legal Files

The purpose of updating the file may be to move the file to a later date, to renew the status of the file, or to involve third parties in the case. In such cases, the file update process is performed. Figure 8 shows the page that updates the legal files of the application.

LEGAL FILES																								
ID	Plaintiff	Defendant	Case History	Subject of the Case	Court	This no	File Status	Transactions																
1	Game Sun Alökmen	Nurullah Demir	2024-08-08	Divorce (Divorce due to the foundation of the marital union being shaken (Contested))	Istanbul 5th Family Court	2022676	Hearing date has been given, preliminary examination hearing will be held	<input type="button" value="Update"/>																
<table border="1"> <tr> <td>Plaintiff</td> <td><input type="text" value="Pe u Alökmen"/></td> </tr> <tr> <td>Defendant</td> <td><input type="text" value="Nu h Demir"/></td> </tr> <tr> <td>Case History</td> <td><input type="text" value="20: 8-08"/></td> </tr> <tr> <td>Subject of the Case</td> <td><input type="text" value="Bo na(Evlilik birliğinin ter"/></td> </tr> <tr> <td>Court</td> <td><input type="text" value="İsta il 5. Aile Mahkemesi"/></td> </tr> <tr> <td>This no</td> <td><input type="text" value="20: '6"/></td> </tr> <tr> <td>File Status</td> <td><input type="text" value="Du , na tarihi verildi ön ino"/></td> </tr> <tr> <td colspan="2"><input type="button" value="Update"/></td> </tr> </table>									Plaintiff	<input type="text" value="Pe u Alökmen"/>	Defendant	<input type="text" value="Nu h Demir"/>	Case History	<input type="text" value="20: 8-08"/>	Subject of the Case	<input type="text" value="Bo na(Evlilik birliğinin ter"/>	Court	<input type="text" value="İsta il 5. Aile Mahkemesi"/>	This no	<input type="text" value="20: '6"/>	File Status	<input type="text" value="Du , na tarihi verildi ön ino"/>	<input type="button" value="Update"/>	
Plaintiff	<input type="text" value="Pe u Alökmen"/>																							
Defendant	<input type="text" value="Nu h Demir"/>																							
Case History	<input type="text" value="20: 8-08"/>																							
Subject of the Case	<input type="text" value="Bo na(Evlilik birliğinin ter"/>																							
Court	<input type="text" value="İsta il 5. Aile Mahkemesi"/>																							
This no	<input type="text" value="20: '6"/>																							
File Status	<input type="text" value="Du , na tarihi verildi ön ino"/>																							
<input type="button" value="Update"/>																								

Figure 8. Updating Legal Files

When users receive a new case, they can enter the necessary information with the add button and refresh the file. Figure 9 shows the page that adds the application to the legal files.

Plaintiff	<input type="text"/>
Defendant	<input type="text"/>
Case History	<input type="text"/>
Subject of the Case	<input type="text"/>
Court	<input type="text"/>
This no	<input type="text"/>
File Status	<input type="text"/>
<input type="button" value="Add"/>	
<input type="button" value="Add"/>	

Figure 9. Addition to Legal Files

Users can view Enforcement files, the follow-up date is the opening date of the file, and from here they can check the dates, file status and follow-up amount. Figure 10 shows the page that displays the enforcement files of the application.

Enforcement Files									
ID	Payee	Debtor	Tracking Date	Executive Office	This no	Tracking Amount	Subject of Pursuit	File Status	Transactions
1	European Bank Joint Stock Company	Mustafa Öztür, Ramazan Öztür (3rd Party Son: Akif Öz)	2019-01-14	Istanbul Enforcement Office	2022155	96.000,520 TL	Credit Debt and taboo cancellation	A request was made on behalf of the 3rd Party and it was requested that the lien on the real estate belonging to the 3rd Party be removed as of the first article 106 and article 110.	Update
2	Sevket Ates	Eretilmez	2022-12-27	Istanbul Enforcement Office	2022127210	7.843 TL	Past period alimony receivable	Notification was issued and prepared	Update
3	Yasurun	Bertalan	2023-08-10	Istanbul Enforcement Office	2020127	190.500 TL	Lien	Seizures Will Be Placed	Update
4	Peşin	Filiz	2023-09-28	Istanbul Enforcement Office	2023125251	9.500 TL	Attorney's Fee Receivable	Accepted for Seizure No goods	Update

[Add](#)

Figure 10. Viewing Enforcement Files

It can also perform the update process. The purpose of this is to ensure that the user can update the status of the file in case of any change in the file status. Figure 11 shows the page that updates the enforcement files of the application.

ID	Payee	Debtor	Tracking Date	Executive Office	This no	Tracking Amount	Subject of Pursuit	File Status	Transactions
1	European Bank Joint Stock Company	Mustafa Öztür, Ramazan Öztür (3rd Party Son: Akif Öz)	2019-01-14	Istanbul Enforcement Office	2022155	96.000,520 TL	Credit Debt and taboo cancellation	A request was made on behalf of the 3rd Party and it was requested that the lien on the real estate belonging to the 3rd Party be removed as of the first article 106 and article 110.	Update

Payee	<input type="text" value="Bank Anonim Şirketi"/>
Debtor	<input type="text" value="Mustafa Öztür, Ramazan Öz"/>
Tracking Date	<input type="text" value="2019-01-14"/>
Executive Office	<input type="text" value="İstanbul İcra Dairesi"/>
This no	<input type="text" value="2022155"/>
Tracking Amount	<input type="text" value="96.000,520 TL"/>
Subject of Pursuit	<input type="text" value="Kredi borcu ve tabu iptali"/>
File Status	<input type="text" value="3. parti adına talepte bulun"/>

[Update](#)

Figure 11. Update to Enforcement Files

Additionally, when users click on the add button when a new enforcement file is opened, they can fill out the form and update the file. Figure 12 shows the page that adds the enforcement files of the application.

Figure 12. Addition to Enforcement Files

The importance of the hearing questioning module developed in this application;

For law firms, effectively managing hearing dates and details is critical to the successful conclusion of cases. In the law firm tracking system we developed, the hearing inquiry module is one of the most important components. This module allows lawyers and law firm staff to easily track hearing dates, times and locations. Additionally, reminders and notifications about hearing dates ensure that no hearing is missed. The hearing inquiry module greatly facilitates the business processes of law firms with its user-friendly interface and quick access facilities. Thanks to this module, time losses are minimized and possible errors are prevented because hearing dates and relevant documents are collected on a single platform. The user is asked to select a specific date range and the hearings that will take place within this date range are displayed on the screen. Date information is displayed on the screen by taking it from the date recorded in the legal files.

Figure 13 shows the page that performs the Hearing Inquiry process of the application.

ID	Plaintiff	Defendant	Case History	Subject of the Case	Court	This no	File Status
1	Gan Sun Ali en	Nun r	2024-08-08	Divorce (Divorce due to the foundation of the marital union being shaken (Contested))	Istanbul 5th Family Court	2022676	Hearing date has been given, preliminary examination hearing will be held
2	Mil Gc Gc ag	Turgu Gökda met Akdağ	2024-08-09	Deed Cancellation and Registration Case	Istanbul 2nd Family Court	2022675	A decision of non-jurisdiction was made. It was decided to lift the measure on the real estate.

Figure 13. Hearing Inquiry

The hearing inquiry module plays an important role in ensuring order and efficiency in the business processes of law firms. Thanks to this module developed with PHP, lawyers can quickly access hearing dates and related information and provide better service to their clients. Therefore, the integration of such a system will increase the competitiveness of law firms and improve their operational processes.

The importance of the income statement and earnings status, financial management for law firms is one of the cornerstones of operational success and sustainability. In this context, the developed law office tracking system is a screen where lawyers can view their income and expense statements and see the total debt and receivable amounts. This screen allows lawyers and office managers to clearly monitor their financial situation and helps them make strategic decisions. Figure 14 shows the page showing the Income-Expense table of the application.

Receipt Viewing

CASH INCOME/EXPENSE ENTRY

Fall: Central Vault ▼

Income/Expense Type:

Amount:

Will borrow: Debt ▼

History: gg.aa.yyyy

Explanation:

Fail	Income/Expense Type	Debt	receivable	History	Explanation	Transactions
<input type="text" value="Don't wait..."/>	<input type="text" value="Income/Expense search..."/>	<input type="text" value="Search for debt..."/>	<input type="text" value="Search to buy..."/>	<input type="text" value="Search for date..."/>	<input type="text" value="Search for description..."/>	
Central Vault	Office Food Expense	500	0	2024-05-20	office food	<input type="button" value="Update"/> <input type="button" value="Will"/>
Central Vault	Bill Payment	1000	0	2024-03-08	March office bill payment	<input type="button" value="Update"/> <input type="button" value="Will"/>

Figure 14. Income-Expense Table

The main benefits of the income statement and earnings status screen are:

Financial Transparency: This module allows lawyers and managers to view their financial situation in a detailed and transparent way. Detailed analysis of income and expense items allows office management to make more informed financial decisions.

Time Saving: Manual accounting records and reporting processes are quite time consuming. Thanks to this module, all financial data is processed automatically and can be reported instantly. This allows office staff to use their time more efficiently.

Error Reduction: Manually recording financial transactions is an error-prone process. Automated income and expense statements minimize data entry errors and increase the accuracy of financial reports.

Strategic Planning: A clear view of the total debt and receivable amount helps office management make strategic plans for the future. This information plays a critical role in investment decisions, cost control and budgeting processes.

Figure 15 shows the page showing the Total Earnings of the application.

Fail	Income/Expense Type	Debt	receivable	History	Explanation	Transactions
<input type="text" value="Don't wait..."/>	<input type="text" value="Income/Expense search..."/>	<input type="text" value="Search for debt..."/>	<input type="text" value="Search to buy..."/>	<input type="text" value="Search for date..."/>	<input type="text" value="Search for description..."/>	
Central Vault	Office Food Expense	500	0	2024-05-20	office food	<input type="button" value="Update"/> <input type="button" value="Will"/>
Central Vault	Bill Payment	1000	0	2024-03-08	March office bill payment	<input type="button" value="Update"/> <input type="button" value="Will"/>
Personal Safe	earning	0	2000	2024-08-27	will get a lawsuit	<input type="button" value="Update"/> <input type="button" value="Will"/>
Central Vault	earning	0	100000	2024-05-26	will get a lawsuit	<input type="button" value="Update"/> <input type="button" value="Will"/>
		0	0	0000-00-00		<input type="button" value="Update"/> <input type="button" value="Will"/>
Total:		1500.00	102000.00			
TOTAL EARNINGS: 100500.00 TL						

Figure 15. Viewing Total Earnings

In the developed application, the necessary function for managers to track their total debt and earnings accounts is shown in Table 1.

Table 1. Function that calculates and displays the total of debt and earnings

	Function-1:
1. function calculateTotal() {
2.	var debtTotal \leftarrow 0;
3.	var incomeTotal \leftarrow 0;
4.	var debtElements \leftarrow document.querySelectorAll('. debt-input');
5.	var incomeElements \leftarrow document.querySelectorAll('. income-input');
6.	incomeElements. forEach (function (element) {
7.	debtTotal $+\leftarrow$ parseFloat(element.value) 0; });
8.	incomeElements. forEach (function (element) {
9.	incomeTotal $+\leftarrow$ parseFloat(element.value) 0; });
10.	document.getElementById('debt-Total').textContent \leftarrow debtTotal.toFixed(2);
11.	document.getElementById('income-Total').textContent \leftarrow incomeTotal.toFixed(2);
12.	document.getElementById('earnings-Total').textContent \leftarrow (incomeTotal- debtTotal).toFixed(2); }
13.	window.onload \leftarrow function () {
14.	calculateTotal ();.. };.....
15.	end function

3. Conclusions And Future Works

The law office tracking system developed with PHP greatly facilitates the business processes and financial management of law offices with its critical components such as the hearing inquiry module and income and expense table. Integration of this system increases the efficiency of offices, minimizes time and error losses, and supports strategic decision-making processes. Thanks to digital transformation, operational efficiency increases, client satisfaction increases and financial transparency is ensured. Additionally, the detailed reporting and analysis features offered by this system allow law firms to regularly evaluate their performance and identify areas for improvement. Centralized management of data increases security and accelerates access to information. As a result, all law firms' adoption of this type of tracking system will significantly contribute to their long-term competitive advantage and sustainable success. Automatic date reporting systems may be added to future studies.

References

- [1] Akil, C. (2013). "Borçlunun Üçüncü Kişilerdeki Mal ve Alacaklarının Haczi". Yetkin Yayınları, Ankara.
- [2] Demirel, D. (2006). "E- Devlet ve Dünya Örnekleri". Sayıştay Dergisi, s. 61.
- [3] Muşul, T. "İcra ve İflas Hukuku Esasları". Adalet Yayınları, Ankara, 2015, 5. Baskı.
- [4] Gürsul, F., Bayrakdar, B. (2009), "Ulusal Yargı Ağı Projesi(UYAP) Sistemi nin Değerlendirilmesi", E-Akademi Hukuk, Ekonomi ve Siyasal Bilimler Aylık İnternet Dergisi, s. 90.s
- [5] Karşlı, A., Gürsul, F., Kartal, E. (2009), "Nitel Araştırma: Avukatla rın Ulusal Yargı Ağı Projesi (UYAP) Uygulama Yazılımına ilişkin Görüşleri", Legal Hukuk Dergisi, s. 82.
- [6] Duffett, R. G., Wakeham, M. (2016). Social Media Marketing Communications Effect on Attitudes Among Millennials in South Africa. The African Journal of Information Systems, 8 (3), 20-44.
- [7] Pozzi, S. R. (2015). "Diving Into Digital". Best's Review, 5, 47.
- [8] McMahon, C. (2015). "Top 5 Tech Trends for 2015". Insurance Networking News, 17 (6), 10-16.
- [9] Çetin, A., Çitli, Z. C. (2012). "Elektronik Sigortacılıkta E-imza". Marmara Üniversitesi Bankacılık ve Sigortacılık Enstitüsü E-Dergisi, 2 (2), 2-19.
- [10] Aycı, E., (2005). "Yargı Etiği Açısından Ulusal Yargı Ağı Projesi (UYAP)", Adalet Dergisi, s. 22.
- [11] Bernardo, N. (2016). "The Chapter Management of Digital Insurance". Part of the Series Palgrave Studies in Financial Services Technology. UK: Palgrave Macmillan, 47-90.

- [12] Salvatore P., Patricia J. G., Ron K. (2016). "Solving the crisis of immediacy: How digital technology can transform the customer experience". *Business Horizons*, 59(4), Pages 411-420, ISSN 0007-6813, <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2016.03.004>.
- [13] Durgun, M., & Gökrem, L. (2023). "Remote-Controlled Affordable Solenoid Valve Design and a Web-Based Approach to Its Implementation". *International Scientific and Vocational Studies Journal*, 7(2), 206-212. <https://doi.org/10.47897/bilmes.1404670>
- [14] Başçiftçi F., Avuçlu E. (2018). "An expert system design to diagnose cancer by using a new method reduced rule base". *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 157, Pages 113-120, ISSN 0169-2607, <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2018.01.020>.
- [15] Öztürk, S. M., & Çifci, A. (2023). A Study in Enhancing Battery Management Systems for Diverse Battery Types. *International Scientific and Vocational Studies Journal*, 7(2), 122-136. <https://doi.org/10.47897/bilmes.1385510>
- [16] Taştan, M., & Uğural, M. N. (2022). Applicability Of Incineration Technology In Waste Management: Istanbul Case Study. *International Scientific and Vocational Studies Journal*, 6(2), 121-137. <https://doi.org/10.47897/bilmes.1212938>

Performing Distance Measurements Of Fixed Objects Detected With Yolo Using Web Camera

Volkan Karaca ^{a,1}, Ebubekir Yaşar ^b

^a Tokat Gaziosmanpaşa University, Tokat, Turkey
ORCID ID: 0009-0007-5002-7227

^b Mechanical Engineering, Tokat Gaziosmanpaşa University, Tokat, Turkey
ORCID ID: 0000-0002-0780-893x

Abstract

Today, cameras are used for many purposes such as image analysis and synthesis. Technological developments have also made the use of image processing techniques more widespread and distance measurements with cameras have become more precise. In addition, examinations show that the cameras are also used to determine precise target distance or depth mapping studies. In this study, using the Yolo v8 model with a single web camera, the doors in a closed area whose positions did not change were detected, and then the distance of the detected object to the camera was tried to be measured. A comparison was made between the actual distances of the camera to the detected object and the measured distances. For distance measurement, measurement was carried out with the Euclidean method using OpenCV libraries. The study was carried out to show how effectively web cameras can be used at short distances and how much deviation occurs in the measurements. It is thought that measurement errors will be minimized using a webcam in future studies.

Keywords: “Deep Learning, Distance Measurement, Camera.”

1. Introduction

The image processing process includes processes such as determining various features and details of an image, making changes to the image, and converting the image to other formats. Image processing is applied in many fields such as computer vision, medical imaging, satellite imaging and photography[1-2]. An image is a valuable data source that contains a lot of information. This information is obtained from the color, shape, size and many other characteristics of the image. Factors such as camera resolution, image quality, and sharpness of details on the image determine the amount and quality of information contained in an image. Therefore, image analysis and processing play a critical role in many applications and research fields[3-4]. Many researchers accept that distance information can be extracted by using some information in the image [5-6]. One of the frequently used and preferred methods in distance measurement systems with cameras is the field variation method. This method focuses on how the image of the target object taken at specific time intervals changes over time. In particular, this method examines the change in how much area the target object's image perceived by the camera covers over time. This provides important information about how the object's distance from the camera and therefore the camera's field of view changes. This information is used to measure and analyze distance more accurately. Therefore, the field variation method is considered a very valuable and effective method for mono camera distance measurement systems [7-8]. On the other hand, parallel to the studies in this field, there are also distance measurement systems using deep learning models. These models make it possible to make more accurate and precise distance measurements with information obtained from camera fields of view, often using complex algorithms and large data sets. Such systems generally have higher accuracy rates compared to traditional distance measurement methods and are generally preferred in more complex and challenging application areas[9-10].

In camera distance measurement systems, the use of equipment or the need for extra information about the target object and the varying measurement sensitivity depending on distance are among the important problems faced by these systems. Providing such information may require both time and additional resources, which may negatively impact the overall efficiency and speed of operations[11-12]. However, the application of pixel-oriented studies to such systems may cause measurement sensitivity to vary depending on distance. This can cause sensitivity to drop significantly and seriously affect the accuracy of the results, especially when measuring at longer distances. For this reason, the difficulty of obtaining accurate results at long distances can be a significant obstacle that pixel-oriented studies may encounter in the use of these systems [13-14]. Pixel-based methods are a

¹ Corresponding Author
E-mail Address: volkan.karaca@gop.edu.tr

widely used technique, especially in image processing and analysis systems. In these methods, the displacement of an image's pixel within the screen is used for various calculations and evaluations. Camera Field of View (FoV), which changes depending on distance, plays an important role in these calculations. FoV determines the width and height of the field that a camera can image. In fixed focus cameras, the resolution remains constant. This affects Pixels Per Meter (PPM). PPM refers to the number of pixels at a given distance in an image and is often used to determine the level of detail of an image. Therefore, pixel-based methods and the systems in which they are implemented play an important role in both image analysis and general image processing processes [15].

In our study, the doors in a closed area (corridor) whose positions did not change were detected using the Yolo v8 model with a single web camera, without using any additional equipment, and then the distance of the detected object to the camera was tried to be measured. The most important reason for using the Yolo v8 model is that it has a faster decision-making structure and produces more successful results compared to other models. A comparison was made between the actual distances of the camera to the detected object and the measured distances. For distance measurement, measurement was carried out with the Euclidean method using OpenCV libraries.

2. Material and Method

2.1. Yolo (You Only Look Once)

Object Detection(Object Detection); It is a computer technology related to computer vision and image processing that focuses on detecting images in photos, videos, and real-time images. Yolo is a cleaner that separates object using convolutional neural networks (CNN). It is the first object detection model to combine bounding box (bounding box) prediction and object signatures into a single end-to-end differentiable network. In other words, the objects in the images or videos and these distribution coordinates are detected simultaneously. "You Look Once", meaning "Just Look Once". The reason why this name was chosen is that it is fast enough to detect objects in one go[16].

The only difference between video and image processing is that images consist of a single frame, while videos consist of many frames. While the algorithm works for a single frame in images, it runs repeatedly for all frames in videos. The YOLO algorithm first divides the image into regions. It then draws the bounding boxes surrounding the objects in each region and calculates the probability of finding objects in each region[17].

It also calculates a trust score for each bounding box. This score tells us the percent probability that that object is the predicted object. For example, if the confidence score for a found car is 0.3, this means that the probability of that object being a car is very low. It applies a technique called non-maximum suppression to the objects inside the bounding boxes. This technique removes objects with a low confidence score from evaluation and checks for the presence of a bounding box with a higher confidence score in the same region.

It is searched for objects in each region. If an object is found, the midpoint, height and width of that object are found and then a bounding box is drawn. In order to do this, a number of sub-operations must be performed. A prediction vector is created for each region, and these vectors include the confidence score. If the confidence score is 0, there is no object there, if it is 1, it means there is an object there. More than one bounding box can be drawn for the same object within the same box. To get rid of this problem, the non-maximum suppression technique that I mentioned before is used. What is done with this technique is simply to keep the bounding box with the highest confidence score and remove the others from the image.

2.2. Preparing the Data Set and Creating the Data Label Map

While preparing the data set, 900 photographs were taken in the school corridor. The photo was taken with a mobile phone camera with a resolution of 2280x1080 pixels and a focal length of 26 mm. A few of the photographs taken are given in Fig. 1. These photographs were reproduced with various filters and 3600 photographs were obtained. The resolutions of the reproduced photos have been reduced to the resolution of the webcam to be used (640x480 pixels). Thus, it is aimed to eliminate errors that may arise from the resolution difference between the camera used for shooting and the webcam used to measure distance.

LabelIMG 1.8 program was used while preparing the label map. A label map of the objects identified in the photograph has been created and some of the marked objects are shown in Fig. 2 below.



Fig. 1. Corridor photos

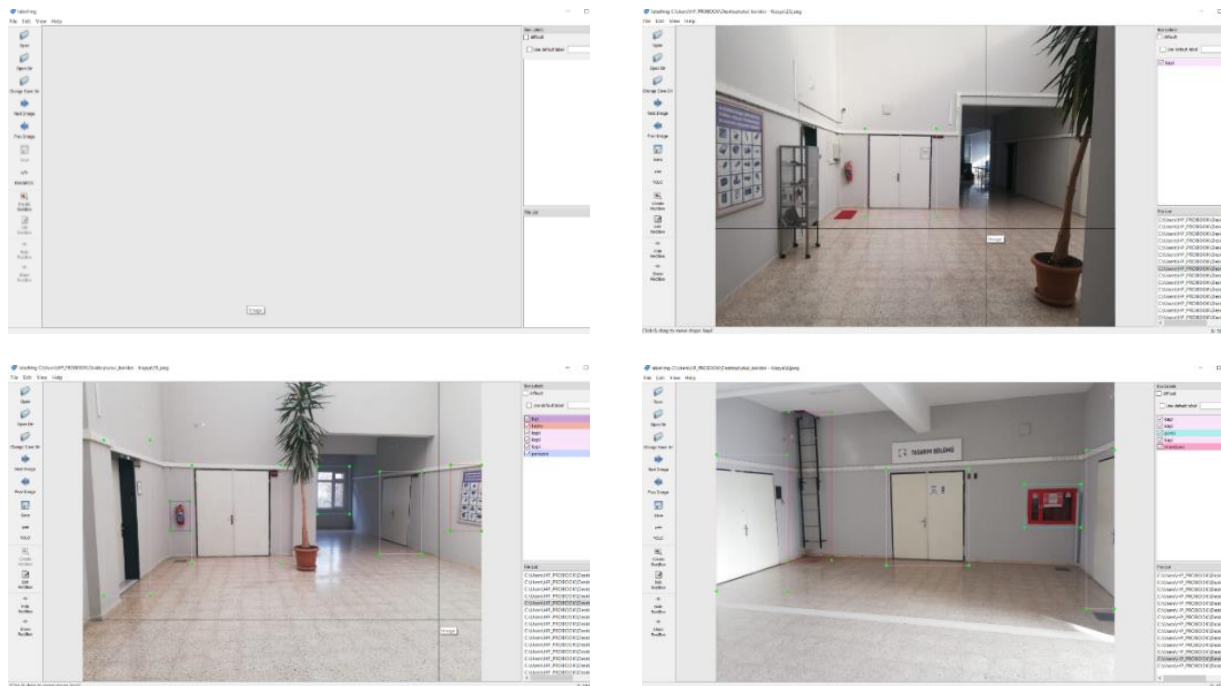


Fig. 2. LabelImage program interface and feature mapped objects

The ".txt" extension maps of some of the objects marked in the corridor with the LabelIMG program are shown in Fig. 3.

```

69 0.292058 0.366667 0.087555 0.210000
65 0.085679 0.359167 0.043777 0.141667
20 0.032833 0.346667 0.063164 0.076667
70 0.196998 0.318333 0.077548 0.083333
71 0.201376 0.422500 0.082552 0.065000
23 0.202001 0.385000 0.067542 0.030000
54 0.479987 0.406667 0.124453 0.300000
56 0.545341 0.262083 0.036273 0.039167
57 0.666979 0.250000 0.028143 0.040000
55 0.796123 0.431667 0.266417 0.446667

```

Fig. 3. Label map of several objects

2.3. Measuring Distance with Webcam

In the study, measurements were made by taking into account the distance of a known object and the area it occupies on the camera. A frame is created for a referenced image. While creating the frame, the frame size is given according to the size of the detected object. An attempt was made to determine the unknown distance by considering the known frame size and known distance. Distance measurement with WebCam was tried to be prepared using the OpenCV library. Since the camera viewing angle is fixed, the viewing angle of the reference image and the detected image will not change, so distance determination was tried to be made from the same angle. Distance calculations are shown in Fig. 4 and Fig. 5. Mathematical calculations are given in equations 1, 2, 3, 4, 5, 6, respectively.

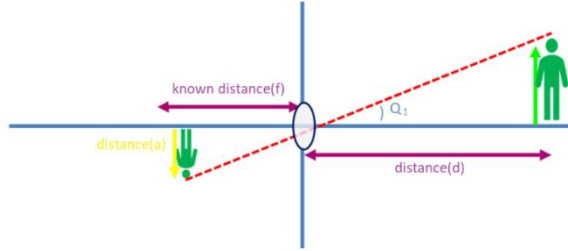


Fig. 4. Distance Calculations-1

TanQ1 is calculated in the equation (1) given below.

$$\frac{a}{f} = \tan Q1 = \frac{h}{d} \quad (1)$$

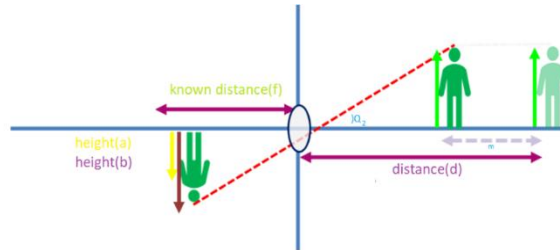


Fig. 5. Distance Calculations-2

TanQ2 is calculated in the equation (2) given below.

$$\frac{d}{f} = \tan Q2 = \frac{h}{d - m} \quad (2)$$

From the two equations given above, the following equations (3,4,5,6) arise, respectively.

$$\frac{a}{b} = \frac{h}{d} * \frac{d - m}{h} \quad (3)$$

$$\frac{a}{b} = \frac{d - m}{d} = 1 - \frac{m}{d} \quad (4)$$

$$\frac{m}{d} = 1 - \frac{a}{b} \quad (5)$$

$$d = \frac{m}{1 - \frac{a}{b}} \quad (6)$$

2.4. Object Detection and Distance Measurement

Below are shown a few distance measurements of the detected object in Fig. 6. An attempt was made to measure the distances of the detected object at a fixed frame width. Distance measurements were performed with a CMOS webcam with

350K color support and 640x480 pixel resolution. While measurements were carried out, 15x15cm landmarks were placed on the doors. Measurements were made using these landmarks as reference.



Fig. 6. Object Detection and Distance measurements

3. Findings and Conclusion

The measurement results made with the camera placed at a real distance between 80cm-20cm at the same height and at frame refresh rates of 1000ms-1ms are given in Table 1.

When the measured distances are evaluated according to frame rates;

- Among all measured frame refresh rates, the error rate is highest at 80cm and 20cm distances,
- Average error of 4.79% at 60-40-20cm at 1000ms frame refresh rate,
- Average error of 6.71% at 500ms frame refresh rate, 60-40-20cm,
- Except for the frame refresh rate of 1000ms and 500ms at a distance of 20cm, it shows the same distance (23.01cm) in all frames with a constant error rate (15.05%)
- Average error of 8.98% at 250ms frame refresh rate, 60 and 40cm,
- Average error of 4.73% at 100ms frame refresh rate, 60 and 40cm,
- Average error of 4.57% at 50ms frame refresh rate, 60 and 40cm,
- Average error of 6.47% at 25ms frame refresh rate, 60 and 40cm,
- Average error of 4.96% at 10ms frame refresh rate, 60 and 40cm,
- Average error of 3.74% at 5ms frame refresh rate, 60 and 40cm,
- At 1ms frame refresh rate, an average error of 2.51% was detected at 60 and 40cm.

When the measured distances were examined, it was seen that the ideal distance measurements were made from 40cm, which has the least error rate. At the same time, the error rate was measured to be minimum at 1 and 5ms frame rates. In addition, when the actual distance is greater than 80 cm, deviations increase further and more effective measurement can be performed at short distances.

As a result, it is thought that this study will facilitate applicability by making more accurate choices with the results obtained according to the ideal frame refresh rate in studies and projects that require distance measurement in real-time and bright environments.

Table 1. Actual distance, measured distance and error rates with web camera at various frame refresh rates

Frame Refresh Rate	Actual Distance(cm)	Measured Value(cm)	Error(cm)	Error(%)
1000ms	80	93,53	13,53	16,91
	60	62,97	2,97	4,95
	40	41,81	1,81	4,52
	20	20,98	0,98	4,9
500ms	80	92,17	12,17	15,21
	60	63,98	3,98	6,63
	40	42,12	2,12	5,3
	20	21,64	1,64	8,2
250ms	80	92,17	12,17	15,21
	60	67,14	7,14	11,9
	40	42,43	2,43	6,07
	20	23,01	3,01	15,05
100ms	80	93,44	13,44	16,8
	60	62,97	2,97	4,95
	40	41,81	1,81	4,52
	20	23,01	3,01	15,05
50ms	80	95,28	15,28	19,1
	60	63,98	3,98	6,63
	40	41,01	1,01	2,52
	20	23,01	3,01	15,05
25ms	80	92,91	12,91	16,13
	60	66,24	6,24	10,4
	40	41,02	1,02	2,55
	20	23,01	3,01	15,05
10ms	80	99,67	19,67	24,58
	60	65,91	5,91	9,85
	40	40,03	0,03	00,75
	20	23,01	3,01	15,05
5ms	80	99,07	19,07	23,83
	60	62,97	2,97	7,42
	40	40,03	0,03	0,075
	20	23,01	3,01	15,05
1ms	80	92,17	12,17	15,21
	60	62,97	2,97	4,95
	40	40,03	0,03	0,075
	20	23,01	3,01	15,05

References

- [1] A. Vyas, S. Yu, and J. Paik, "Fundamentals of digital image processing," in *Multiscale Transforms with Application to Image Processing*, pp. 3-11, Singapore, 2018.
- [2] E. Avuçlu, "Examining The Effect Of Pre-processed Covid-19 Images On Classification Performance Using Deep Learning Methods," *International scientific and vocational studies journal*, vol. 7, no. 2, pp. 94–102, Dec. 2023, doi: 10.47897/bilmes.1359954.
- [3] Ç. Kurnaz and B. K. Gül, "Determination of the relationship between sodium ring width on iris and cholesterol level," *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, vol. 2018, no. 2018, Apr. 2018, doi: 10.17341/gazimmfd.416452.

- [4] O. Ülker, İ. Ertuğrul, and N. Akkuş, “Characterization of electrothermal micro-actuator using image processing algorithm,” *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, vol. 36, no. 2, pp. 1159–1170, Mar. 2021, doi: 10.17341/gazimmfd.683386.
- [5] M. Takatsuka, G. A. W. West, S. Venkatesh, and T. M. Caelli, “Low-cost interactive active range finder,” *Machine Vision and Applications*, vol. 14, no. 3, pp. 139–144, Jul. 2003, doi: 10.1007/s00138-003-0129-y.
- [6] M. F. A. Hassan, A. Hussain, M. H. M. Saad, and K. Win, “3D distance measurement accuracy on low-cost stereo camera,” *Science International*, vol. 29, no. 3, pp. 599–605, 2017.
- [7] J. H. Oh, J. Park, S. H. Lee, B. H. Lee, and J. I. Park, “Error modeling of depth measurement using FIR stereo camera systems,” in *The Third International Conference on Digital Information Processing and Communications (ICDIPC2013)*, 2013.
- [8] M. A. Mahammed, A. I. Melhum, and F. A. Kochery, “Object distance measurement by stereo vision,” *International Journal of Science and Applied Information Technology (IJSAIT)*, vol. 2, no. 2, pp. 05-08, 2013.
- [9] H. Tsung-Shiang and W. Ta-Chung, “An Improvement Stereo Vision Images Processing for Object Distance Measurement,” *International Journal of Automation and Smart Technology*, vol. 5, no. 2, pp. 85–90, Jun. 2015, doi: 10.5875/ausmt.v5i2.460.
- [10] M. W. Tao, S. Hadap, J. Malik, and R. Ramamoorthi, “Depth from combining defocus and correspondence using light-field cameras,” in *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision*, pp. 673-680, 2013.
- [11] M. Soyaslan, “Object distance detection through disparity map in stereo camera system”, *Sakarya University Journal of Science (SAUJS)*, vol. 20, no. 2, pp. 111–119, 2016, doi: 10.16984/saufenbilder.77095.
- [12] R. Srijha, “Methodology for distance measurement: A Comparative Study,” *International Journal of Electronics, Electrical and Computational System IJEECS*, vol. 6, no. 8, pp. 451–457, 2017.
- [13] K. Y. Chen, P. K. Tsung, P. C. Lin, H. J. Yang, and L. G. Chen, “Hybrid motion/depth-oriented inpainting for virtual view synthesis in multiview applications,” in *2010 3DTV-Conference: The True VisionCapture, Transmission and Display of 3D Video IEEE.*, pp. 1-4, 2010.
- [14] A. Rahman, A. Salam, M. Islam, and P. Sarker, “An Image Based Approach to Compute Object Distance,” *International Journal of Computational Intelligence Systems*, vol. 1, no. 4, pp. 304–312, Dec. 2008, doi: 10.1080/18756891.2008.9727627.
- [15] O. Uslu and E. Özkan, “IP CCTV sistemlerinde pixel (PPM) hesaplaması ve doğru çözünürlük tespiti.” Accessed: May. 20, 2024. [Online]. Available: https://www.emo.org.tr/ekler/a48e0098ca1a33f_ek.pdf
- [16] “Gerçek Zamanlı Nesne Takibi(Real-Time Object Detection w/Yolo-Python),” *Smartera*, Dec. 23, 2020. <https://smartera.com.tr/gercek-zamanli-nesne-takibireal-time-object-detection-w-yolo-python/> (accessed Jun. 01, 2024).
- [17] D. Çakmak, “YOLO (You Look Only Once) Algoritması,” *Medium*, Oct. 14, 2020. <https://deryacakmak.medium.com/yolo-you-look-only-once-algoritmas%C4%B1-9e8819c5e4cf> (accessed Jun. 01, 2024).

Evaluation of Smart City Determinants By The Fuzzy DEMATEL Method

Onur Derse ^{a,1}

^a Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Tarsus University, 33400 Tarsus, Mersin, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-4528-1999

Abstract

Studies on smart cities are increasing rapidly today. Smart cities are structures that offer solutions to urban challenges with technological, sustainable, economic, and social approaches and focus on creating a more livable environment. In this study, first, the main components of smart cities were examined and then these main components were evaluated. Smart Governance, Smart Transportation and Mobility, Smart People, Smart Economy, Smart Energy, Smart Environment and Smart Living are discussed as the main components of smart cities. For the main components considered, it is aimed to reveal the relationship between the components that affect and are affected by each other and to reveal the importance of each component. In the study, the Fuzzy DEMATEL method is used, considering the existence of uncertain and fuzzy situations for the components considered. Factors for the development of smart cities were evaluated by obtaining the impact graphs of the components examined with the fuzzy DEMATEL method. When the results of the study are examined, it is seen that the Smart Living, Smart Energy, Smart Economy, and Smart Governance criteria are in the affecting factors group, and the Smart Environment, Smart Transportation and Mobility, and Smart People criteria are in the affected group. When the relationship levels are examined in order from most to least, it can be seen that they are Smart Governance, Smart Living, Smart Energy, Smart Economy, Smart People, Smart Environment, Smart Transportation and Mobility. When the importance levels are examined, the criteria from most to least are listed as Smart Governance, Smart Living, Smart Energy, Smart People, Smart Economy, Smart Environment and Smart Transportation and Mobility. Such analyses and approaches are of great importance in the process of developing smart cities and creating sustainable cities. The findings of the study are considered important in terms of guiding future research and contributing to the development of smart cities. Theoretically, it provides new information about how the components of smart cities interact and which components are more critical. In practice, it provides strategic information that can guide city managers and policymakers in urban planning and management.

Keywords: “Smart cities, smart city determinants, fuzzy DEMATEL.”

1. Giriş

Hızlı kentleşme yeni zorluklar ve sorunlar yaratır ve akıllı şehir konsepti bu zorlukların üstesinden gelmek, kentsel sorunları çözmek ve vatandaşlara daha iyi bir yaşam ortamı sağlamak için fırsatlar sunar [1]. Akıllı Şehir kavramı günümüzde önem kazanan yeni bir kavramdır ve bu nedenle çoğu araştırmacının ve şehir yetkilisinin dikkatini çekmiştir [2]. Akıllı şehirler, kentsel alanlardaki vatandaşlar için verimliliği, ekonomik kalkınmayı, sürdürülebilirliği ve yaşam kalitesini artırmak için teknoloji ve verileri kullanır [3]. Lai ve ark. [3] çalışmasında akıllı bir şehir gelişimi için günümüzde birçok uluslararası standart geliştirildiğine ve önceki standartlar için mevcut toplum ihtiyaçlarının karşılanmasının uygun hale getirilmesi için revize edildiğine değinilmektedir. Akıllı Şehir kavramı ile ilgili farklı tanımlamalar olmakla beraber European Commission [4]’a göre akıllı şehir tanımı “Sakinlerinin ve iş dünyasının yararına dijital çözümlerin kullanılmasıyla geleneksel ağ ve hizmetlerin daha verimli bir biçime getirildiği yer” olarak yapılmıştır. Chong ve ark. [5]’na göre ise akıllı şehir “altyapıların ve teknoloji aracılı hizmetlerin entegrasyonunun insan altyapısını güçlendirmek için sosyal öğrenme ve kurumsal gelişim ve vatandaş katılımı için yönetişimdir.” olarak tanımlanmıştır.

Akıllı şehirler, vatandaşlarının yaşam kalitesini, yerel ekonomiyi, ulaşımı, trafik yönetimini, çevreyi ve hükümetle etkileşimi iyileştirmek için faaliyetlerde bulunur [6]. Yaşar ve ark. [7]’na göre ise akıllı şehirler teknolojiyi kullanarak oluşturulmuş unsurlar ile birlikte insanların yaşam standartlarının artırılmasını ve sürdürülebilir şehirler oluşturmasını sağlamaktadır. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2020-2023 Ulusal Akıllı Şehirler Stratejisi ve Eylem Planı [8]’na göre ise Akıllı Şehirlerin amaçları aşağıdaki gibi sıralanmıştır.

- Kentin beklentilerinin ve problemlerinin tüm mekânlarda ve sistemlerde önemli bir güç hâline getirilmesi,

¹ Corresponding Author
E-mail Address: onurderse@tarsus.edu.tr

- Fiziksel, dijital ve sosyal planlamanın entegre olarak ele alınması,
- Meydana gelen zorlukların çevik, sürdürülebilir ve sistematik olarak öngörülmesi, tanımlanması ve karşılanması,
- Şehirdeki organizasyonel yapılarıdaki etkileşimi sağlayarak entegre hizmet sunumunun ve yenilik ortaya çıkarma potansiyelinin artırılması.

Akıllı Şehir fikirleri, dijital şehir, yeşil şehir, bilgi şehri gibi daha eski bazı kentsel politikaların birleşimidir. Bu nedenle Akıllı Şehir, çevre ayak izinin azaltılmasını ve insanlar için daha iyi bir hayat kalitesinin yaratılmasını amaç edinen daha iyi bir kentsel alan için karmaşık ve uzun vadeli vizyondur [9]. Akıllı şehirler hakkında son yıllarda yapılan birçok araştırma ve inceleme bulunmaktadır [3]. Alawadhi ve ark. [10] çalışmalarında, dört şehir ele alınarak akıllı şehir girişimlerinden sorumlu hükümet yetkilileri ve yöneticilerle yapılan yarı yapılandırılmış görüşmelere dayanan bir analizin ilk sonuçları sunulmaktadır. Çalışmada, akıllı şehir girişimlerine yönelik bir anlayış oluşturmak amaçlanmakta ve ana bulguların teknoloji, yönetim ve organizasyon, politika bağlamı, yönetim, insanlar ve topluluklar, ekonomi, yapılı altyapı ve doğal çevre dahil olmak üzere sekiz açıdan kategorize edildiği belirtilmektedir. Bakıcı ve ark. [11] çalışmalarında, Barselona'nın Akıllı Şehir yönetimi alanlarındaki dönüşümünü incelemektedir. Çalışmada, Barselona'nın Akıllı Şehir girişimiyle ilgili mevcut literatür ele alınır ve kentin Akıllı Şehir modeli ile örnek olay analizi sunulur. Çalışma sonucu, Barselona'nın dünya için bir Akıllı Şehir modeli olma amacıyla Akıllı Şehir stratejisini etkin bir şekilde uyguladığını belirtmektedir. Chong ve ark. [5] çalışmalarında, Teksas'ta vatandaş girdileri için bir toplama aracı olarak açık uçlu bir anket kullanarak şehri tanımlayan bazı adımlara odaklanmaktadır. Çalışma sonucunun akıllı şehir hedefine yönelik kapsamlı bir strateji tasarlamada yardımcı olma potansiyeline sahip olduğu belirtilmiştir. Braga ve ark. [12] çalışmasında, yöneticilerin akıllı şehir belirleyicilerini işbirlikçi bir şekilde analiz etmelerine yardımcı olabilecek Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinden DEMATEL (The Decision Making Trial and Evaluation Laboratory) yöntemine dayanan bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada, uzman görüşü ile konuyla ilgili belirleyicileri ve bunların ilgili neden-sonuç ilişkilerini belirlemek ele alınmaktadır. De Marco ve Mangano [13] çalışmasında, akıllı şehirlerin evrim yollarını ve en son eğilimlerini yakalamak için Doğal Kaynaklar ve Enerji, Enerji, Ulaşım ve Mobilite, Binalar, Yaşam, Devlet, Ekonomi ve Toplum olmak üzere altı farklı alan ve bunlarla ilişkili alt alanları incelemiştir. İstatistiksel analizin sonuçlarının, akıllı şehir paradigmasının hala kapsamlı bir tanımlanmış evrim modeli olmadığını gösterdiğini belirtmektedir. Lim ve ark. [14] akıllı şehir gelişiminin hem olumlu hem de olumsuz sonuçlarına ilişkin ampirik kanıtlar bulmayı amaçlamaktadır. Freire ve ark. [15] çalışmasında, akıllı şehirler ve yapay zeka konusunu ele almaktadır. Çalışmada, akıllı şehir girişimlerinin yapay zekaya uyum sağlamasının zorluklarını ele almasına olanak tanıyan bir dinamik analiz sistemi geliştirilmiş ve test edilmiştir. DEMATEL yöntemi ele alınarak akıllı şehirlerin boyutları arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Koca ve ark. [16] çalışmasında, birbirini etkileyen ve birbirinden karşılıklı olarak etkilenen boyut-alt boyut içsel ilişkisini ortaya çıkarmak için ve akıllı şehir boyutlarının ağırlıklarını belirlemek için DEMATEL yaklaşımı kullanılmıştır. Bu çalışmadaki amaç, gelişmekte olan bir kavram olarak akıllı şehir hakkındaki mevcut bilgi ve anlayışı yönlendirerek, her boyutun göreceli önemini vurgulamaktır. Göçmen [17] çalışmasında akıllı bir havalimanında ulaşım planlamasının sağlıklı yapılabilmesi için hangi standartların hedeflendiğini incelemekte ve akıllı bir lojistik bölgesi için bir yapı önermektedir. Vaz ve ark. [18] çalışmasında, akıllı şehir başarısını değerlendirmek için kullanılan kriterleri yapılandırabilecek bir yöntem ele almıştır. Çalışmada, akıllı şehirleri karmaşık bir çalışma nesnesi olarak kullanarak çeşitli bilişsel haritalar oluşturulmuş ve karşılaştırılmıştır. Yaşar ve ark. [7] çalışmasında, Ankara'nın yedi ilçesi dikkate alınmıştır. Çalışmada akıllı şehir kapsamı için ANP (Analytic Network Process - Analitik Ağ Süreci) ve PROMETHEE (The Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation) yöntemi kullanılmıştır. Çalışma amacı, akıllı şehir uygulamaları açısından seçilen yedi ilçenin sıralanmasıdır. Çalışmanın sonuç kısmında, akıllı şehir uygulamaları bakımından en uygun ilçenin Çankaya olduğu ortaya konmuştur.

Bu çalışmada, gelişen bir kavram olan akıllı şehir dikkate alınmaktadır. Çalışmadaki amaç akıllı şehir bileşenlerinin tespit edilmesi ve birbirini etkileyen ve birbirinden karşılıklı olarak etkilenen bileşenlerin ilişkisinin ortaya çıkarılmasını sağlama ve her bileşenin önem derecesini ortaya çıkarmaktır. Ele alınan bileşenler için belirsiz ve bulanık durumlarında varlığı dikkate alındığı için Bulanık DEMATEL metodu kullanılmaktadır. Gelişmekte olan akıllı şehir bileşenleri için kesin/belirli yargılara varmak mümkün olmadığı için kullanılan Bulanık DEMATEL yöntemi ile incelenen bileşenlerin etki grafları elde edilerek akıllı şehirlerin gelişimi için faktörler değerlendirilmiştir. Bulanık DEMATEL yönteminin kullanılmış olduğu akıllı şehirlerin incelendiği bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bulanık DEMATEL yöntemi ile akıllı şehirleri ele alan bu çalışmanın gelecek çalışmalara destek olacağı ve akıllı şehirlerin gelişimine katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

2. Materyal ve Method

Çalışma iki aşamada gerçekleştirilmektedir. İlk olarak akıllı şehirlerin bileşenleri incelenmiştir. Daha sonra incelenen bileşenlerin Bulanık DEMATEL yöntemi ile değerlendirilmesi yapılmıştır.

Braga ve ark. [12] çalışmalarında akıllı bileşenleri teknoloji, mobilite, insan, enerji, çevre, yönetim ve ekonomi olarak ele almıştır. Vanli ve Akan [19] çalışmalarında birçok farklı çalışmaya değinmekte ve akıllı bir şehre dönüşmek için hükümetler, işletmeler ve vatandaşlar arasında uygun yönetim ve işbirliği yoluyla yeterli teknolojik, fiziksel ve sosyal altyapı gerekliliğini vurgulamaktadır. Gil-Garcia ve ark. [20] çalışmasında akıllı şehirleri; çevre, teknoloji ve altyapı, ticaret ve ekonomi, insan ve

yönetim çerçevesinde dikkate almaktadır. Lim ve ark. [14] çalışmalarında akıllı şehirleri ekonomik, çevresel, sosyal, yönetim ve teknolojik bileşenler altında ele almıştır. Bu çalışmada da akıllı şehrin bileşenleri kapsamlı şekilde dikkate alınmış ve akıllı şehirlerin bileşenleri ve açıklamaları Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Akıllı şehirlerin ana bileşenleri.

Akıllı Şehirlerin Bileşenleri	Belirlenen Bileşenlerin Açıklamaları	Referanslar
Akıllı Yönetişim	Siyasi katılım, vatandaş hizmetleri ve yönetim işlevleri ile ilgilidir.	[21]
Akıllı Ulaşım ve Mobilite	Bu alanlardaki girişimler, vatandaşlar üzerindeki olumsuz etkileri – gürültü kirliliği ve trafik sıkışıklığı gibi – azaltmak için tüm paydaşların koordine edildiği entegre sistemlerin geliştirilmesini teşvik eder.	[22]
Akıllı İnsan	Sadece vatandaşlar tarafından alınan nitelik veya eğitim düzeyiyle değil, aynı zamanda ek sosyal etkileşimler ve kamusal yaşam algılarıyla da ilgilidir.	[21]
Akıllı Ekonomi	Girişimcilik, yenilikçilik, esneklik, işgücü piyasasının üretkenliği, ticari markalar ve küresel pazara katılım gibi ekonomik rekabet gücünü çevreleyen özelliklerden oluşur.	[21]
Akıllı Enerji	Enerji ve yenilenebilir enerji kaynaklarıyla enerji ve maliyet tasarrufu sağlayan, kamusal değeri olan ve yenilikçi yaklaşımlarla ilgilidir.	[8]
Akıllı Çevre	Yeşil alan, azaltılmış kirlilik, kaynak yönetimi ve çevre korumasını sağlamak için çalışma gibi koşullarla ilgilidir.	[21]
Akıllı Yaşam	Sağlık, barınma, kültür, turizm ve güvenlikten oluşan yaşam kalitesinin birçok özelliğini içerir.	[21]

2.1. Bulanık DEMATEL Yöntemi

DEMATEL yöntemi, birbirine geçmiş ve karmaşık problemlerin kavrayışını geliştirmek ve çözmek amacıyla Fontela ve Gabus [23] tarafından geliştirilmiştir. DEMATEL yöntemi, ilgili faktörleri neden grubu ve etki grubu olarak ayırabilen digraflara dayanmaktadır ve birçok farklı alanda da kullanım alanı bulmuştur [24 – 26]. Digraflar ile yönlendirilmiş grafikler elde edilebilir ve alt sistemlerin yönlendirilmiş ilişkiler gösterilebilir [27].

DEMATEL yöntemini uygulamak için Fontela ve Gabus [23] tarafından geliştirilen adımlar aşağıda belirtildiği gibidir.

- Adım 1: Direkt ilişki matrisinin ikili karşılaştırma ölçeğinin oluşturulması.
- Adım 2: Direkt ilişki matrisinin normalleştirilmesi.
- Adım 3: Toplam ilişki matrisinin elde edilmesi.
- Adım 4. Satır toplamalarının ve sütun toplamalarının elde edilmesi ve neden – sonuç diyagramının oluşturulması.
- Adım 5. Ele alınan faktörlerin önem derecelerinin belirlenmesi.

Belirtilen adımları belirsiz durumlarda uygulamak çok zordur. Bu nedenle bu çalışmada Bulanık DEMATEL yöntemi uygulanmıştır. Bulanık DEMATEL adımları için Organ [28]’ın çalışmasında Öztürk [29], Baykasoğlu ve ark. [30] ve Aksakal ve Dağdeviren [31] çalışmalarından dikkate alarak oluşturduğu ve düzenlediği adımlar dikkate alınmıştır. Adımların detayları devam eden başlıklar altında açıklanmaktadır.

2.1.1. Adım 1: Kriterlerin Belirlenmesi ve Bulanık Sayı Skalasının Oluşturulması

Etki faktörlerinin belirlenebilmesi için faktörler arasındaki ilişkilerin uzmanlar tarafından oluşturulması gerekmektedir. Bazı durumlarda ilişki düzeyini belirlemek oldukça zor olabilir bu nedenle sayıların bulanıklaştırılması önerilmektedir. Bu adımda, Adım 1 için Bulanık DEMATEL yönteminde bulanık skala olarak Tablo 2’deki [32] bulanık sayı ölçeği dikkate alınır.

Tablo 2. Etki seviyelerinin bulanık sayı ölçeği [32].

Etki Seviyesi	Etki Puanı	Bulanık Sayı Karşılığı
Etki yok	0	(0; 0,1; 0,3)
Çok düşük etki	1	(0,1; 0,3; 0,5)
Düşük etki	2	(0,3; 0,5; 0,7)
Yüksek etki	3	(0,5; 0,7; 0,9)
Çok yüksek etki	4	(0,7; 0,9; 1)

2.1.2. Adım 2: Direkt İlişki Matrisinin Oluşturulması

\tilde{z}_{ij} bulanık direk ilişki matrisi olarak ifade edilir. $\tilde{z}_{ij} = (l_{ij}, n_{ij}, u_{ij})$ üçgensel bulanık sayıları ifade eder ve i. faktörün j. faktörü etkileme düzeyinin bulanık sayılarla gösterilmesidir.

2.1.3. Adım 3: Direkt İlişki Matrisinin Normalleştirilmesi

$$x_{ij}^k = \frac{z_{ij}^k}{r^k} = \left\{ \frac{l_{ij}^k}{r^k}, \frac{n_{ij}^k}{r^k}, \frac{u_{ij}^k}{r^k} \right\} \quad (1)$$

$$r^k = \max_{1 < i < n} \left(\sum_{j=1}^n u_{ik}^k \right) \quad (2)$$

Eşitlik 1'deki $\{l, n, u\}$ üçgensel bulanık sayıları ifade eder ve Eşitlik 1 ve Eşitlik 2'nin kullanılmasıyla normalleştirilmiş direkt ilişki matrisi oluşturulur. Eşitlik 2'nin kullanılmasıyla tüm sütundaki "u" değerleri toplanır ve her sütun için bir değer bulunur, bulunan en büyük değer "r" olarak ifade edilir. Tüm matrisin "r" değerine bölünmesiyle normalleştirilmiş direkt ilişki matrisi oluşturulur ve bu matrisin gösterimi Eşitlik 3'deki gibi bir.

$$X = \begin{bmatrix} X_{11} & \cdots & X_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{n1} & \cdots & X_{nn} \end{bmatrix} \quad (3)$$

2.1.4. Adım 4: Toplam İlişki Matrisinin Elde Edilmesi

Normalleştirilmiş ilişki matrisinin eldesinden sonra her bir bulanık eleman kendi kümesindeki elemanlarla toplanır ve birim matristen çıkarma işlemi uygulanır. Daha sonra elde edilen matrisin tersi bulunur ve ilk matrisi ile çarpma işlemi uygulanır. Bu işlem sonucunda Eşitlik 4'deki gibi toplam ilişki matrisi oluşturulur.

$$T = \begin{bmatrix} T_{11} & \cdots & T_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ T_{n1} & \cdots & T_{nn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

2.1.5. Adım 5: Satır Toplamlarının ve Sütun Toplamlarının Elde Edilmesi ve Neden-Sonuç Diyagramının Oluşturulması

Elde edinilen T matrisinden sonra satırların toplamı D_i , sütunların toplamı ise R_i olarak elde edilir. Her bir kriter için elde edilen D_i değerleri ve R_i değerleri kullanılarak D_i+R_i ve D_i-R_i değerleri hesaplanır.

D_i-R_i değerleri hangi kriterlerin değerleri üzerinde daha yüksek etkiye sahip olduğunu ve daha yüksek önceliğe sahip olduklarını göstermektedir. Eğer bu değer pozitifse etkileyen negatifse etkilenen değerler olarak isimlendirilir. D_i+R_i değerleriyse her bir kriterin diğer kriterler ile ilişkisini ifade eder. D_i+R_i değeri yüksek olan kriterlerin düşük olanlara göre daha yüksek ilişki düzeyleri mevcuttur.

2.1.6. Adım 6: Durulaştırma

Bulunan D_i+R_i ve D_i-R_i değerleri üçgensel bulanık sayılardan türetildiği için üç değer içermektedir. Bu değerlerin tek bir değer haline getirebilmesi için durulaştırma yöntemi uygulanır. Durulaştırma işlemi her bir D_i+R_i ve D_i-R_i değeri için $1/4*(1+2n+u)$ formülü yardımıyla uygulanır.

2.1.7. Adım 7: Etki Grafının Oluşturulması

Durulaştırma yöntemi sonucunda elde edilen değerlerle etki grafi çizilir ve analiz gerçekleştirilir. Etki grafi bir koordinat düzleminde yatay ekseninde D_i+R_i değerleri olan ve düşey ekseninde D_i-R_i değerleri olan noktalarının gösterilmesiyle elde edilir.

2.1.8. Adım 8: Ele Alınan Faktörlerin Önem Derecelerinin Belirlenmesi

Ele alınan kriterlerin ağırlık değerleri Eşitlik 5 ve Eşitlik 6 yardımıyla hesaplanır. Burada durulaştırma yapılmış değerler kullanılır.

$$\hat{w}_i = \sqrt{\{(D_i + R_i)^2 + (D_i - R_i)^2\}} \quad (5)$$

$$w_i = \frac{\hat{w}_i}{\sum_{i=1}^n \hat{w}_i} \quad (6)$$

3. Bulgular

Çalışmada ele alınan akıllı şehir bileşenleri Bulanık DEMATEL yöntemiyle değerlendirilmiştir. Tablo 3, direkt ilişki matrisini göstermektedir ve değerler uzman görüşü alınarak oluşturulmuştur. Uzmanlar 3 kişiden oluşmaktadır ve alanında uzman olan akademisyenlerin görüşleri alınarak oluşturulmuştur. Tablo 4 ise doğrudan ilişki matrisinin bulanıklaştırılması ifade etmektedir.

Tablo 3. Direkt ilişki matrisi.

Akıllı Şehir Bileşenleri	Akıllı Yönetişim	Akıllı Ulaşım ve Mobilite	Akıllı İnsan	Akıllı Ekonomi	Akıllı Enerji	Akıllı Çevre	Akıllı Yaşam
Akıllı Yönetişim	0	3	3	4	3	3	2
Akıllı Ulaşım ve Mobilite	2	0	2	1	2	1	3
Akıllı İnsan	4	2	0	2	1	2	2
Akıllı Ekonomi	4	2	3	0	3	2	2
Akıllı Enerji	2	3	3	3	0	4	2
Akıllı Çevre	2	2	3	2	3	0	2
Akıllı Yaşam	3	3	4	3	3	3	0

Tablo 4. Direkt ilişki matrisinin bulanıklaştırılması.

Bulanık semboller	Akıllı Yönetişim			Akıllı Ulaşım ve Mobilite			Akıllı İnsan			Akıllı Ekonomi			Akıllı Enerji			Akıllı Çevre			Akıllı Yaşam		
	l	n	u	l	n	u	l	n	u	l	n	u	l	n	u	l	n	u	l	n	u
Akıllı Yönetişim	0	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9	0,5	0,7	0,9	0,7	0,9	1	0,5	0,7	0,9	0,5	0,7	0,9	0,3	0,5	0,7
Akıllı Ulaşım ve Mobilite	0,3	0,5	0,7	0	0,1	0,3	0,3	0,5	0,7	0,1	0,3	0,5	0,3	0,5	0,7	0,1	0,3	0,5	0,5	0,7	0,9
Akıllı İnsan	0,7	0,9	1	0,3	0,5	0,7	0	0,1	0,3	0,3	0,5	0,7	0,1	0,3	0,5	0,3	0,5	0,7	0,3	0,5	0,7
Akıllı Ekonomi	0,7	0,9	1	0,3	0,5	0,7	0,5	0,7	0,9	0	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9	0,3	0,5	0,7	0,3	0,5	0,7
Akıllı Enerji	0,3	0,5	0,7	0,5	0,7	0,9	0,5	0,7	0,9	0,5	0,7	0,9	0	0,1	0,3	0,7	0,9	1	0,3	0,5	0,7
Akıllı Çevre	0,3	0,5	0,7	0,3	0,5	0,7	0,5	0,7	0,9	0,3	0,5	0,7	0,5	0,7	0,9	0	0,1	0,3	0,3	0,5	0,7
Akıllı Yaşam	0,5	0,7	0,9	0,5	0,7	0,9	0,7	0,9	1	0,5	0,7	0,9	0,5	0,7	0,9	0,5	0,7	0,9	0	0,1	0,3

Direkt ilişki matrisinin bulanıklaştırılması adımından sonra matrisin normalleştirilmesi ve toplam ilişki matrisinin oluşturulması adımları uygulanmıştır. Elde edilen matrislerin satır toplamları D_i olarak ifade edilmekte, sütun toplamları ise R_i olarak ifade edilmekte ve D_i ve R_i değerleri Tablo 5'teki gibi elde edilmektedir.

Tablo 5. Satırların ve sütunların toplamı.

D_i (satırlar toplamı)	R_i (sütunlar toplamı)		
	l	n	u
0,943	2,323	11,168	0,895
0,536	1,637	8,836	0,769
0,656	1,839	9,381	0,944
0,839	2,149	10,511	0,771
0,874	2,207	10,768	0,763
0,708	1,927	9,902	0,769
1,002	2,421	11,556	0,647

Tablo 5'den sonra her bir i elemanının bulanık sayı kümesi dikkate alınarak Tablo 6'daki D_i+R_i ve Tablo 7'de D_i-R_i değerleri elde edilir. D_i+R_i değeri toplam etki değerini göstermekte D_i-R_i değeri ise etkilenme değerini göstermektedir. Tablo 6 ve Tablo 7'de bulunan D_i+R_i ve D_i-R_i değerlerinin hala üçgensel bulanık sayılarla temsil edildiği için bu değerlerin tek değeri indirilmesi $1/4(1+2n+u)$ formülüyle uygulanır. Elde edilen değerler Tablo 6 ve Tablo 7'de gösterilmektedir.

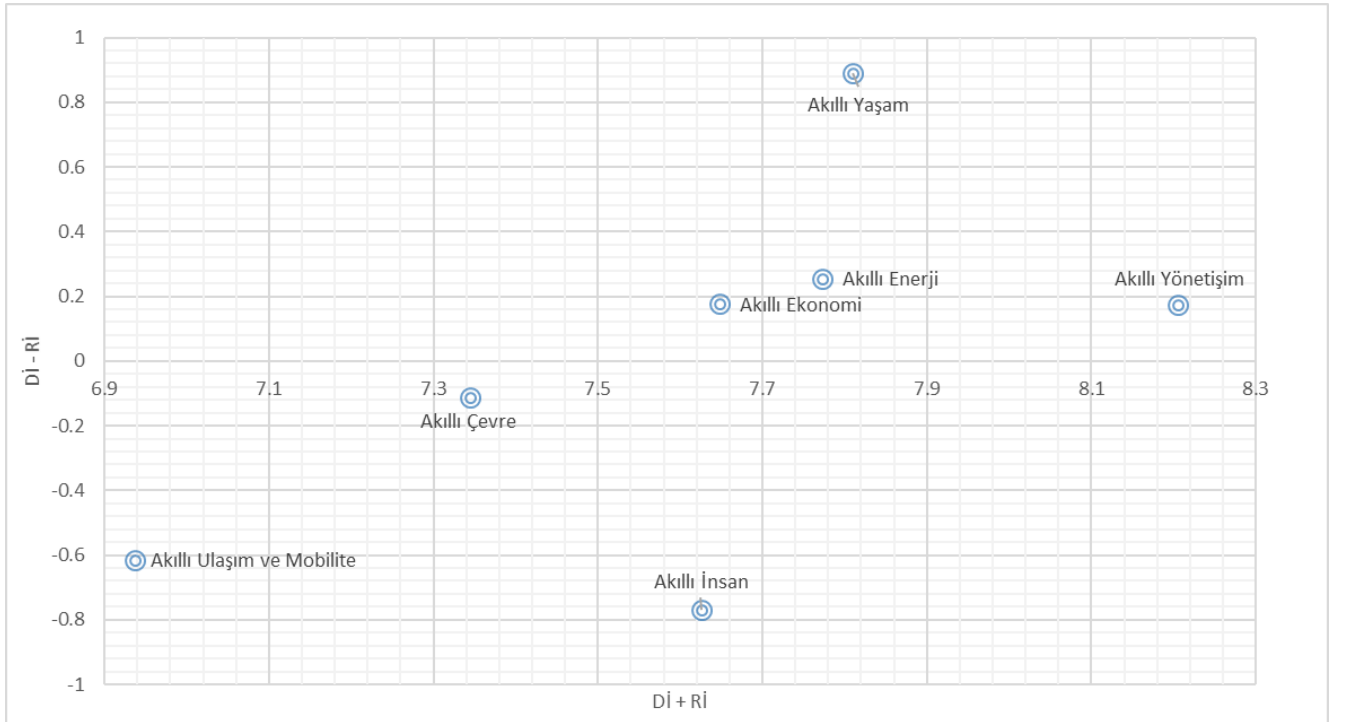
Tablo 6. D_i+R_i değerleri.

Bulanık Semboller	D_i+R_i değerleri			
	l	n	u	$1/4(1+2n+u)$
Akıllı Yönetişim	1,838	4,568	21,848	8,2055
Akıllı Ulaşım ve Mobilite	1,305	3,664	19,117	6,9375
Akıllı İnsan	1,6	4,165	20,575	7,62625
Akıllı Ekonomi	1,61	4,185	20,609	7,64725
Akıllı Enerji	1,637	4,224	21,004	7,77225
Akıllı Çevre	1,477	3,954	19,994	7,34475
Akıllı Yaşam	1,649	4,246	21,097	7,8095

Tablo 7. D_i-R_i değerleri.

Bulanık Semboller	D_i-R_i değerleri			
	l	n	u	$1/4(1+2n+u)$
Akıllı Yönetişim	0,048	0,078	0,488	0,173
Akıllı Ulaşım ve Mobilite	-0,233	-0,39	-1,445	-0,6145
Akıllı İnsan	-0,288	-0,487	-1,813	-0,76875
Akıllı Ekonomi	0,068	0,113	0,413	0,17675
Akıllı Enerji	0,111	0,19	0,532	0,25575
Akıllı Çevre	-0,061	-0,1	-0,19	-0,11275
Akıllı Yaşam	0,355	0,596	2,015	0,8905

Uygulanan adımlar sonucunda ele alınan kriterlerin neden sonuç diyagramı oluşturulur. Etki grafi Şekil 1'deki gibidir. Şekil 1'deki akıllı şehirlerin bileşenleri incelendiğinde Akıllı Yaşam, Akıllı Enerji, Akıllı Ekonomi ve Akıllı Yönetişim kriterleri etkileyen faktörler olarak elde edilmektedir. En çok etkileyen kriter ise Akıllı Yaşam kriteridir. Akıllı şehir bileşenlerinden etkilenen kriterler olarak Akıllı Çevre, Akıllı Ulaşım ve Mobilite ve Akıllı İnsan kriterleridir. İlişki değerleri incelendiğinde ise en yüksek ilişki düzeyine sahip olan kriterin Akıllı Yönetişim olduğu görülmektedir.

**Şekil 1. Akıllı şehir bileşenlerinin etki grafi.**

Uygulamanın son adımı olarak ise ağırlıklar elde edilmiştir. Elde edilen ağırlıklar Tablo 8'deki gibidir. Tabloya göre önem dereceleri yüksekten düşüğe sırasıyla Akıllı Yönetişim, Akıllı Yaşam, Akıllı Enerji, Akıllı İnsan, Akıllı Ekonomi, Akıllı Çevre ve Akıllı Ulaşım ve Mobilite'dir.

Tablo 8. Akıllı şehirlerin bileşenlerinin ağırlıkları.

Akıllı Şehir Bileşenleri	Ağırlıklar
Akıllı Yönetişim	0,164557
Akıllı Ulaşım ve Mobilite	0,118499
Akıllı İnsan	0,143525
Akıllı Ekonomi	0,142941
Akıllı Enerji	0,147733
Akıllı Çevre	0,131817
Akıllı Yaşam	0,150928

4. Sonuçlar

Kentleşmenin hızla artmasıyla birlikte, nüfus yoğunluğu ve araç yoğunluğu gibi çeşitli problemler ortaya çıkmaktadır. Bu problemler, hem bireylerin günlük yaşamlarını zorlaştırmakta hem de çevresel, ekonomik ve sosyal alanlarda olumsuz etkiler yaratmaktadır. Bu tür sorunların üstesinden gelmek için yenilikçi ve sürdürülebilir yaklaşımlar gerekmektedir. Bu bağlamda, akıllı şehirler konsepti önem kazanmaktadır. Akıllı şehirler, çeşitli teknolojik ve stratejik çözümlerle şehirlerin daha yaşanabilir, sürdürülebilir ve verimli hale getirilmesini hedefleyen karmaşık sistemlerdir. Bu çalışmada, akıllı şehirlerin bileşenlerinin belirlenmesi ve bu bileşenlerin birbirleriyle olan ilişkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amacı gerçekleştirmek için, Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinden biri olan DEMATEL yöntemi kullanılmıştır. Ayrıca, karar alma süreçlerindeki belirsizlik ve bulanıklıkları azaltmak amacıyla DEMATEL yöntemine bulanık küme teorisi entegre edilmiştir.

Uygulanan yöntem ve adımlar sonucunda, ele alınan kriterlerin etki grafları oluşturulmuştur. Bu etki grafları incelendiğinde, akıllı şehirlerin bileşenleri arasında Akıllı Yaşam, Akıllı Enerji, Akıllı Ekonomi ve Akıllı Yönetişim kriterlerinin etkileyen kriterler olduğu görülmektedir. Etki grafları incelendiğinde, etkilenen kriterler olarak ise Akıllı Çevre, Akıllı Ulaşım ve Mobilite ile Akıllı İnsan kriterleri elde edilmiştir. İlişki düzeyleri çoktan aza doğru sırasıyla incelendiğinde Akıllı Yönetişim, Akıllı Yaşam, Akıllı Enerji, Akıllı Ekonomi, Akıllı İnsan, Akıllı Çevre, Akıllı Ulaşım ve Mobilite olduğu görülmektedir. Ayrıca önem ağırlıkları da çoktan aza doğru sırasıyla incelendiğinde Akıllı Yönetişim, Akıllı Yaşam, Akıllı Enerji, Akıllı İnsan, Akıllı Ekonomi, Akıllı Çevre, Akıllı Ulaşım ve Mobilite olduğu görülmektedir.

Çalışmanın bulguları, gelecekte yapılacak araştırmalara yön vermesi ve akıllı şehirlerin gelişimine katkı sağlaması açısından önemli görülmektedir. Önerilen çalışma, akıllı şehir araştırmalarına teorik ve pratik anlamda önemli katkılar sunmaktadır. Teorik olarak, akıllı şehirlerin bileşenlerinin nasıl etkileştiği ve hangi bileşenlerin daha kritik olduğu konusunda yeni bilgiler sağlamaktadır. Pratik olarak ise, şehir yöneticilerine ve politika yapıcılara şehir planlaması ve yönetimi konularında yol gösterici olabilecek stratejik bilgiler sunmaktadır. Sonuç olarak, akıllı şehirlerin geliştirilmesi ve sürdürülebilir şehirler yaratılması sürecinde bu tür analizlerin ve yaklaşımların önemi büyüktür. Gelecek çalışmalarda farklı Çok Kriterli Karar Verme yöntemleri ele alınarak önem dereceleri incelenebilir ve kıyaslanabilir. Ayrıca, her bir akıllı şehir bileşeni (Akıllı Yönetişim, Akıllı Yaşam, Akıllı Enerji, Akıllı İnsan, Akıllı Ekonomi, Akıllı Çevre, Akıllı Ulaşım ve Mobilite) detaylandırılarak alt boyutlarda daha detaylı incelemeler ve etki düzeyleri ölçülebilir.

Kaynaklar

- [1] C. Yin, Z. Xiong, H. Chen, J. Wang, D. Cooper, and B. David, "A literature survey on smart cities," *Science China Information Sciences*, v. 58, no 10, pp. 1-18, 2015.
- [2] A. Camero, and E. Alba, "Smart city and information technology: A review", *Cities*, v. 93, pp. 84-94, 2019.
- [3] C. S. Lai, Y. Jia, Z. Dong, D. Wang, Y. Tao, Q. H. Lai, R. T. K. Wong, A. F. Zobaa, R. Wu, and L. L. Lai, "A review of technical standards for smart cities," *Clean Technologies*, v. 2, no 3, pp. 290-310, 2020.
- [4] European Commission. Accessed date: 12 October 2022. Smart Cities. Available: https://ec.europa.eu/info/eu-regional-and-urban-development/topics/cities-and-urban-development/city-initiatives/smart-cities_en.
- [5] M. Chong, A. Habib, N. Evangelopoulos, and H. W. Park, "Dynamic capabilities of a smart city: An innovative approach to discovering urban problems and solutions," *Government Information Quarterly*, v. 35, no 4, pp. 682-692, 2018.
- [6] E. Ismagilova, L. Hughes, Y. K. Dwivedi, and K. R. Raman, "Smart cities: Advances in research—An information systems perspective", *International Journal of Information Management*, v. 47, pp. 88-100, 2019.
- [7] S. Yaşar, Z. Poyraz, R. Yumuşak, and T. Eren, "ANP ve PROMETHEE yöntemleri ile akıllı şehir analizi: Ankara'da bir uygulama", *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, v. 8, no 1, pp. 15-28, 2022.
- [8] T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. "2020-2023 Ulusal Akıllı Şehirler Stratejisi ve Eylem Planı", Erişim Tarihi: 02.03.2024. Link: <https://www.akillisehirler.gov.tr/wp-content/uploads/EylemPlanı.pdf>.
- [9] C. Benevolo, R. P. Dameri, and B. D'auria, "Smart mobility in smart city", *Empowering Organizations*, Springer, Cham, pp. 13-28, 2016.
- [10] S. Alawadhi, A. Aldama-Nalda, H. Chourabi, J. R. Gil-Garcia, S. Leung, S. Mellouli, T. Nam, T. A. Pardo, H. J. Scholl, and S. Walker, "Building understanding of smart city initiatives. In International conference on electronic government", Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 40-53, 2012.

- [11] T. Bakıcı, E. Almirall, and J. Wareham, "A smart city initiative: the case of Barcelona", *Journal Of The Knowledge Economy*, v. 4, no 2, pp. 135-148, 2013.
- [12] I. F. Braga, F. A. Ferreira, J. J. Ferreira, R. J. Correia, L. F. Pereira, and P. F. Falcão, "A DEMATEL analysis of smart city determinants", *Technology in Society*, v. 66, no 101687, 2021.
- [13] A. De Marco, and G. Mangano, "Evolutionary trends in smart city initiatives", *Sustainable Futures*, v. 3, no 100052, 2021.
- [14] Y. Lim, J. Edelenbos, and A. Gianoli, "What is the impact of smart city development? Empirical evidence from a smart city impact index", *Urban Governance*, v. 4, no 1, pp. 47-55, 2024.
- [15] C. A. Freire, F. A. Ferreira, E. G. Carayannis, and J. J. Ferreira, "Artificial intelligence and smart cities: A DEMATEL approach to adaptation challenges and initiatives", *IEEE Transactions on Engineering Management*, 2021.
- [16] G. Koca, O. Egilmez, and O. Akcakaya, "Evaluation of the smart city: Applying the dematel technique", *Telematics and Informatics*, v. 62, no 101625, 2021.
- [17] E. Göçmen, "Smart airport: Evaluation of performance standards and technologies for a smart logistics zone", *Transportation Research Record*, v. 2675, no 7, pp. 480-490, 2021.
- [18] A. L. A. Vaz, F. A. Ferreira, L. F. Pereira, R. J. Correia, and A. Banaitis, "Strategic visualization: the (real) usefulness of cognitive mapping in smart city conceptualization", *Management Decision*, v. 60, no 4, pp. 916-939, 2021.
- [19] T. Vanli, and T. Akan, "Mapping synergies and trade-offs between smart city dimensions: A network analysis", *Cities*, v. 142, no 104527, 2023.
- [20] J. R. Gil-Garcia, T. Chen, and M. Gasco-Hernandez, "Smart city results and sustainability: current progress and emergent opportunities for future research", *Sustainability*, v. 15, no 10, pp. 8082, 2023.
- [21] R. Giffinger, C. Fertner, H. Kramar, R. Kalasek, N. Pichler-Milanovic, and E. Meijers, "Smart cities – ranking of european medium-sized cities, research report", Accessed date: 02.03.2024. Available: Vienna University of Technology, Vienna, Austri, https://www.smart-cities.eu/download/smart_cities_final_report.pdf
- [22] A. C. Cagliano, A. Carlin, G. Mangano, and C. Rafele, "Analyzing the diffusion of eco-friendly vans for urban freight distribution", *The International Journal of Logistics Management*, v. 28, no 4, pp. 1218-1242, 2017.
- [23] E. Fontela, and A. Gabus, "The DEMATEL observer, DEMATEL 1976 report", Switzerland Geneva: Battelle Geneva Research Center, 1976.
- [24] O. Derse, "DEMATEL tabanlı TOPSIS yöntemi ve küme kapsama modeli ile afet lojistiği için depo yeri seçimi: Ege bölgesi örneği", *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, v. 25, no 4, pp. 702-713, 2022.
- [25] O. Derse, "CO2 capture, utilization, and storage (CCUS) storage site selection using DEMATEL-based Grey Relational Analysis and evaluation of carbon emissions with the ARIMA method", *Environmental Science and Pollution Research*, v. 30, no 6, pp. 14353-14364, 2023.
- [26] O. Derse, "Prioritizing solutions of green reverse logistics barriers with Fuzzy DEMATEL–FUCOM–SWARA methods", *Ecological Indicators*, v. 165, no 112198, 2024.
- [27] W. W. Wu, and Y. T. Lee, "Developing global managers' competencies using the fuzzy DEMATEL method", *Expert Systems with Applications*, v. 32, no 2, pp. 499-507, 2007.
- [28] A. Organ, "Bulanık Dematel yöntemiyle makine seçimini etkileyen kriterlerin değerlendirilmesi," *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, v. 22, no 1, pp. 157-172, 2013.
- [29] O. Öztürk, "Türkiye karayollarında trafik kazalarının nedeni ve bu kazaların analizi", *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü [Yüksek lisans tezi, Dn. BORAN K.]*, Ankara, page 106, 2009.
- [30] A. Baykasoğlu, V. Kaplanoğlu, Z. D. Durmuşoğlu, and C. Şahin, "Integrating fuzzy DEMATEL and fuzzy hierarchical TOPSIS methods for truck selection", *Expert Systems with Applications*, v. 40, no 3, pp. 899-907, 2013.

- [31] E. Aksakal, and M. Dağdeviren, “ANP ve DEMATEL yöntemleri ile personel seçimi problemine bütünleşik bir yaklaşım”, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, v. 25, no 4, 2010.
- [32] R. J. Lin, “Using fuzzy DEMATEL to evaluate the green supply chain management practices”, Journal of Cleaner Production, v. 40, pp. 32-39, 2013.

Facial Tracking, Recognition, and Utilizing Gaussian Blur In Face Recognition Systems Via The OpenCv Library

Muhammed Emin Necipsoy ^{a,1}, Atilla Ergüzen ^b

^a General Directorate of Health for Borders and Coasts of Türkiye, İstanbul, Türkiye
ORCID ID: 0000-0003-3978-6365

^b Computer Engineering, Kırıkkale University, Kırıkkale, Türkiye
ORCID ID: 0000-0003-4562-2578

Abstract

Face recognition technology attracts great attention in many technological areas. The development of face recognition algorithms has made significant contributions to the elimination of deficiencies in the field of image processing. Especially image processing libraries such as OpenCV provide a reliable and regularly updated platform for researchers and developers. OpenCv, which includes face recognition algorithms, is an image processing library that facilitates image processing. Some people may not want their faces to be seen in videos, movies or live broadcasts, and objectionable images and harmful products such as cigarettes and alcohol may need to be censored. In this case, the Gaussian filter comes to our rescue. The Gaussian filter is a filter widely used in image processing techniques and known for its blurring feature. The Gaussian filter is also called blurring in image processing software. The Python language is a programming language that can work independently of the platform. The Python language contains many libraries and is easy to program. The OpenCv library, like many other libraries, has generally been used with the Python language because it works very well with the Python language and is easily programmed. Many projects developed with Python language and OpenCv can be seen in academic sources. The aim of this study is to perform face recognition using OpenCV library and automatically apply Gaussian filter to recognized faces. All existing software does not automatically blur the desired faces. Doing this process manually is both time-consuming and jeopardizes the protection of privacy due to the unnoticed parts of the manual application process. Possible users of this project include televisions, production companies, broadcasters and YouTubers. This project can contribute to more effective protection of privacy and save time. This article can provide a method for researchers, industry experts and academics.

Keywords: “Face recognition, OpenCv, Gaussian filter, image processing, blurring.”

1. Introduction

With the development of technology, facial recognition algorithms, which are an important component in various applications such as personal identification, security enhancement, automation and human-machine interaction, have also made great progress [7]. Face detection and recognition algorithms contribute to overcoming many difficulties in daily life, protecting privacy, automation systems and various fields by accurately identifying individuals and verifying their identities with the help of learning-based algorithms such as artificial intelligence and machine learning through the analysis of facial features.

In recent years, significant advances have been made in facial recognition technology thanks to innovations in software and hardware that increase accuracy and efficiency. In particular, the adaptation of artificial intelligence, deep learning algorithms and big data analytics has increased the speed and reliability of facial recognition systems [5]. Image processing libraries, especially the OpenCv image processing library, provide facilities and libraries for easy implementation of face recognition algorithms [47]. This process of advancement in the field of facial detection and recognition has not only improved security applications but also expanded the scope of facial recognition in various fields [12].

Image processing and computer vision are rapidly growing fields that are essential for many industrial and academic applications [40]. OpenCv (Open Source Computer Vision Library) is an open source library that is widely used in these areas. OpenCv, first developed by Intel in 2000 and constantly updated, offers a wide range of tools for researchers and engineers [44]. The library's availability in a variety of programming languages such as C++, Python, Java and MATLAB increases its versatility and makes it invaluable for the development of complex image processing applications.

¹ Corresponding Author
E-mail Address: muhammedemin.tombak@saglik.gov.tr

OpenCv's flexibility makes it a preferred choice for a variety of applications, from research to commercial products. It provides tools for basic image processing, object detection, motion analysis, face recognition, 3D modeling and deep learning adaptations [44]. This powerful feature set allows developers to efficiently implement advanced algorithms to quickly prototype and deploy their projects in image processing.

In this article, a software project in which OpenCV is used to detect, learn and recognize faces, and then the Gaussian filter, in other words the blur filter, available in OpenCV, is automatically applied to the selected learned face. In the software project that is the subject of this academic article, the machine learning method and the Haar Cascade algorithm were preferred for face recognition. A common smoothing and blurring method, the Gaussian filter is used to blur images and reduce noise. This method effectively protects people's privacy by making unwanted facial features unrecognizable, whereby the Gaussian filter is widely used, especially in facial recognition and privacy protection applications.

Innovation is encouraged in a variety of disciplines, including the development and application of image processing techniques, computer vision, medical imaging, remote sensing, security systems and content production. Image filters are critical in the field of image processing. Image filters improve image quality, remove features, add new features, or highlight certain areas. In this context, the Gaussian filter is used effectively to blur unwanted parts of an image.

Facial recognition technology has become an integral part of daily life, and as its scope expands and this technology develops, the accuracy and efficiency of the techniques and methods of facial detection and recognition algorithms are becoming increasingly better [7]. Continuous improvements in these technologies are necessary to meet increasing security and privacy demands in a variety of applications, from personal devices to large-scale surveillance systems.

This study aims to demonstrate the potential of the Gaussian filter in facial recognition systems and the developments being made in this field, and to provide valuable information to researchers and industry experts. Automatically hiding faces in videos is very important for privacy and security. Additionally, this process saves cost and time. For example, automatic detection and hiding of markers in videos or inappropriate content in edited footage can significantly reduce manual effort. This process is becoming increasingly important in light of increasing data protection concerns and legal regulations.

With the development of technology, facial recognition algorithms, which are an important component in various applications such as personal identification, security enhancement, automation and human-machine interaction, have also made great progress [7]. Face detection and recognition algorithms contribute to overcoming many difficulties in daily life, protecting privacy, automation systems and various fields by accurately identifying individuals and verifying their identities with the help of learning-based algorithms such as artificial intelligence and machine learning through the analysis of facial features.

In recent years, significant advances have been made in facial recognition technology thanks to innovations in software and hardware that increase accuracy and efficiency. In particular, the adaptation of artificial intelligence, deep learning algorithms and big data analytics has increased the speed and reliability of facial recognition systems [5]. Image processing libraries, especially the OpenCv image processing library, provide facilities and libraries for easy implementation of face recognition algorithms [47]. This process of advancement in the field of facial detection and recognition has not only improved security applications but also expanded the scope of facial recognition in various fields [12].

Image processing and computer vision are rapidly growing fields that are essential for many industrial and academic applications. OpenCv (Open Source Computer Vision Library) is an open source library that is widely used in these areas. OpenCv, first developed by Intel in 2000 and constantly updated, offers a wide range of tools for researchers and engineers [44]. The library's availability in a variety of programming languages such as C++, Python, Java and MATLAB increases its versatility and makes it invaluable for the development of complex image processing applications.

OpenCv's flexibility makes it a preferred choice for a variety of applications, from research to commercial products. It provides tools for basic image processing, object detection, motion analysis, face recognition, 3D modeling and deep learning adaptations [44]. This powerful feature set allows developers to efficiently implement advanced algorithms to quickly prototype and deploy their projects in image processing.

In this article, a software project in which OpenCV is used to detect, learn and recognize faces, and then the Gaussian filter, in other words the blur filter, available in OpenCV, is automatically applied to the selected learned face. In the software project that is the subject of this academic article, the machine learning method and the Haar Cascade algorithm were preferred for face recognition. A common smoothing and blurring method, the Gaussian filter is used to blur images and reduce noise. This method effectively protects people's privacy by making unwanted facial features unrecognizable, whereby the Gaussian filter is widely used, especially in facial recognition and privacy protection applications.

Innovation is encouraged in a variety of disciplines, including the development and application of image processing techniques, computer vision, medical imaging, remote sensing, security systems and content production. Image filters are critical in the field of image processing. Image filters improve image quality, remove features, add new features, or highlight certain areas. In this context, the Gaussian filter is used effectively to blur unwanted parts of an image.

Facial recognition technology has become an integral part of daily life, and as its scope expands and this technology develops, the accuracy and efficiency of the techniques and methods of facial detection and recognition algorithms are becoming increasingly better [7]. Continuous improvements in these technologies are necessary to meet increasing security and privacy demands in a variety of applications, from personal devices to large-scale surveillance systems.

This study aims to demonstrate the potential of the Gaussian filter in facial recognition systems and the developments being made in this field, and to provide valuable information to researchers and industry experts. Automatically hiding faces in videos is very important for privacy and security. Additionally, this process saves cost and time. For example, automatic detection and hiding of markers in videos or inappropriate content in edited footage can significantly reduce manual effort. This process is becoming increasingly important in light of increasing data protection concerns and legal regulations.

2. Literature Review

Facial recognition technology is used to identify or verify individuals by creating mathematical models of faces in images and comparing these models to a database or training set [4]. This section provides a literature review of the use of OpenCV and the Gaussian filter in face recognition and describes the different principles and image filters used in this process.

Face recognition technology has evolved considerably with the development of various algorithms and methods. These methods can be broadly divided into two main types: spatial filters and frequency filters. Spatial filters directly manipulate the individual pixels of an image and perform tasks such as smoothing, sharpening or edge detection to improve image quality. Frequency filters, on the other hand, analyze the frequency components of the image and offer an alternative approach to improving image characteristics by taking the frequency range into account. Both spatial and frequency filters are important to improve the accuracy of face recognition [5].

By using these techniques, the process of face recognition can be refined and improved to ensure better performance and reliability. This comprehensive review of the literature emphasizes the critical role of image processing tools such as OpenCV and the application of Gaussian filters in the advancement of face recognition technology.

2.1. Some of The Most Commonly Used Algorithms for Face Recognition

2.1.1. Eigenfaces

Eigenfaces is a method primarily used to assess the variance of faces and to encode and decode facial features using machine learning techniques. This approach uses a collection of "Eigenfaces", which are essentially basic face components identified by applying principal component analysis (PCA) to an extensive database of faces. The Eigenfaces algorithm has been recognized for its remarkable accuracy in face recognition tasks [6]. However, it is sensitive to illumination variations, that can significantly degrade its performance under different lighting conditions. Despite its robustness, this method struggles when exposed to inconsistent lighting conditions, which is a critical aspect in practical applications.

2.1.2. Fisherfaces

Similar to the Eigenfaces method, the Fisherfaces method uses the Fisher criterion to improve the discrimination between different face classes. This technique was developed to identify the features that most effectively discriminate between different face classes and thus improve the accuracy of face recognition processes. A major advantage of the Fisherfaces method is its lower sensitivity to illumination variations and facial expressions [28]. Consequently, this method proves to be more reliable across a range of illumination conditions and facial expressions, making it very effective in practical applications.

The Fisherfaces approach, which focuses on maximizing class separability, overcomes some of the limitations found in other methods, that can falter under inconsistent lighting conditions or changing facial expressions. This robustness is particularly valuable in real-world scenarios where lighting conditions can be unpredictable and facial expressions vary frequently. Therefore, the Fisherfaces method is characterized by its resilience and improved performance in different and dynamic environments.

2.1.3. Local Binary Patterns Histograms (LBPH)

The LBPH method uses a two-stage process for face recognition. First, the face image is converted into local binary patterns, which then serve as the basis for calculating the corresponding histograms. This method is characterized by its simplicity and speed as well as its ability to obtain texture information [19]. Therefore, the LBPH method is often used in real-time applications thanks to its minimal computational cost and high speed.

Moreover, the process starts with the conversion of the face image into local binary patterns. This step is crucial as it effectively captures the texture features of the image, which are essential for accurate recognition. The histograms of these patterns are then calculated, which form the core of the LBPH method.

What makes LBPH particularly attractive is its efficiency. The algorithm is designed to be both simple and fast, which is a significant advantage in practice. Furthermore, the preservation of texture information ensures that the essential features of the face are preserved throughout the recognition process [19]. This is particularly important in applications where speed and accuracy are of paramount importance.

Due to its advantages, the LBPH method is often used in scenarios that require real-time face recognition. Due to its low computational cost, it can also be used in environments with limited computing power without sacrificing performance. This makes it a versatile tool in various fields, from security systems to user authentication procedures.

In the first phase, the conversion of the face image into local binary patterns, the image is analyzed at a granular level to extract detailed texture information. This information is then summarized into histograms that provide a comprehensive representation of the features of the face. These histograms are used in the subsequent recognition phase to compare and identify faces with high accuracy.

The speed and efficiency of LBPH is underlined by its ability to process and recognize faces quickly, making it suitable for real-time applications. The design of the method ensures that it remains computationally lightweight, enabling fast processing even in hardware-constrained environments. This balance of speed, simplicity and accuracy makes LBPH a preferred choice in many practical applications [19].

To summarize, the two-step process of the LBPH method - —converting images into local binary patterns and computing histograms — enables efficient and accurate face recognition. The advantages of simplicity, speed and texture preservation make it ideal for real-time applications, especially when computational resources are limited. This method is characterized by its ability to deliver high performance with minimal computational effort, which underpins its widespread use in various fields.

2.1.4. Facenet

FaceNet is an advanced face recognition method based on the principles of deep learning. The core of this technique is the embedding of face images in a high-dimensional vector space, which enables the measurement of similarity between faces using the Euclidean distance metric. This embedding process is central to the effectiveness of FaceNet as it ensures that faces are represented in a way that enables accurate recognition.

One of the most notable advantages of FaceNet is its high accuracy and scalability. When trained on large-scale datasets, FaceNet shows exceptional performance, making it a preferred choice for applications that require high precision [25]. This high-dimensional embedding allows FaceNet to capture intricate details of face images, enhancing its recognition capabilities.

The process begins with embedding face images into a high-dimensional vector space. This step is critical as it converts the images into vectors that can be easily compared using Euclidean distance. The similarity between two face images is then determined by calculating the distance between their corresponding vectors, with smaller distances indicating greater similarity.

The effectiveness of FaceNet is largely due to the foundation of deep learning. By utilizing large data sets for training, FaceNet can achieve remarkable accuracy. This makes it particularly useful for applications where precision is important, such as security systems and identity verification processes [25]. Its scalability further increases its usefulness, as it can process large amounts of data without sacrificing performance.

Another important aspect of the method is the use of the Euclidean distance metric to measure similarity. This metric provides a simple yet powerful means of comparing face vectors and ensures that similar faces are accurately recognized. The use of high-dimensional vectors ensures that even subtle differences between faces are captured, contributing to the high accuracy of the method.

FaceNet's deep learning approach and the embedding of high-dimensional vectors make it possible to achieve exceptional performance in face recognition. Its ability to scale with large datasets and maintain high accuracy makes it a preferred solution in many demanding applications [25]. The combination of these features emphasizes the robustness and reliability of FaceNet in various face recognition scenarios.

In summary, FaceNet is characterized by its innovative use of deep learning and vector space embedding. These elements work together to create a method that is both highly accurate and scalable. By converting face images into high-dimensional vectors and using the Euclidean distance metric to measure similarity, FaceNet ensures accurate recognition even under challenging conditions. The success of this method in processing large data sets and maintaining performance highlights its potential for wide application in various fields that require reliable face recognition technology.

2.1.5. Deep Learning and Artificial Neural Networks

Deep learning has made a huge impact in the field of facial recognition. In particular, Convolutional Neural Networks (CNNs) have achieved great success in facial recognition tasks. [39] CNNs effectively recognize facial features by processing and learning an image through various layers. Commonly used CNN models such as VGGFace, ResNet, and Inception are known for their high accuracy rates and strong generalization abilities [3].

VGGFace is a deep learning-based facial recognition model and is based on VGG16 architecture. This model achieves high accuracy rates by training on large data sets. ResNet, on the other hand, makes it possible to train deeper networks by using skip connections to increase the learning speed between layers. Inception, on the other hand, provides a more effective feature mapping by combining filters of different sizes in the same layer. These models demonstrate superior performance in face recognition tasks by using the power of deep learning [3].

2.1.6. Histogram of Oriented Gradients (HOG)

HOG is a method used in face recognition tasks by analyzing the edge structures and gradient directions of an image. HOG features allow facial recognition algorithms to capture structural information of the face. This method is widely used especially in face detection and verification processes and offers high performance [38].

HOG calculates gradient directions and magnitudes for each pixel, then uses this information to create cellular histograms. These histograms are then normalized to obtain more stable and scalable representations of facial features. The HOG method is very popular in face recognition and detection applications as it effectively captures the structural features of the face [38].

2.1.7. Support Vector Machines (SVM)

Support Vector Machines (SVM) is a powerful machine learning algorithm used in classification and regression analysis. In facial recognition systems, SVM performs facial recognition tasks by parsing facial features in a high-dimensional space. Especially when combined with feature extraction methods such as HOG, SVM can improve face recognition accuracy [6].

SVM is used to identify hyperplanes that maximize the separation between classes. This method performs accurate classification by parsing data points in the feature space. Especially in face recognition tasks, SVM can achieve effective results with input data such as HOG features [6].

2.1.8. DeepFace

DeepFace is a facial recognition system developed by Facebook and based on deep learning methods. This method learns and recognizes facial images using deep neural networks. DeepFace creates 3D models of faces, providing high accuracy regardless of different angles and lighting conditions. [37]

The DeepFace method uses 3D modeling of the face, analyzes each part of the face separately and combines these analyzes to perform the face recognition task. This method shows outstanding performance and delivers high accuracy rates when trained on large datasets. [37]

2.1.9. Scale-Invariant Feature Transform (SIFT)

Scale-Invariant Feature Transform (SIFT) is an algorithm used to recognize objects in images independently of scale and transformation changes. In facial recognition systems, it determines the similarities between faces by extracting the distinctive features of the face. SIFT is known for being particularly robust to scale and transformation changes [36].

The SIFT method detects points of interest in the image and performs the face recognition task by analyzing the local features of these points. This method provides high accuracy even at different scales and transformations and is widely used in face recognition systems [36].

The selection of face recognition algorithms requires careful consideration of various factors, as each algorithm offers different advantages and disadvantages depending on the data set, performance criteria and application scenarios. Therefore, the selection of the most suitable algorithm is a crucial element in the research process.

Different algorithms perform particularly well under certain conditions. Some algorithms may perform better on large data sets and offer high accuracy and robustness. Others, on the other hand, may be optimized for speed and computational efficiency and are therefore better suited to real-time applications where fast processing is essential. The selection process therefore cannot be generalized, but must be tailored to the specific requirements of each application.

Performance criteria are another critical factor. In certain applications, accuracy is more important than anything else, e.g. in security systems where false positives or negatives can have significant consequences. In other scenarios, such as user authentication on personal devices, speed and resource efficiency may be more important. The strengths and weaknesses of each algorithm in terms of accuracy, speed and computational effort must be thoroughly evaluated to find the best solution for the intended use [25].

The application scenarios also influence the choice of algorithm. For example, algorithms that work well in controlled environments with consistent lighting and positioning may not be as effective under dynamic, real-world conditions. On the other hand, some algorithms are designed to handle different lighting, angles and even occlusions, making them more versatile for different environments. To select an algorithm that performs reliably, it is important to understand the specific challenges and requirements of the application context.

The process of selecting a face recognition algorithm is therefore multi-layered and must take into account the specific requirements of the dataset, performance criteria and application scenarios. This comprehensive evaluation ensures that the chosen algorithm matches the research objectives and practical requirements of the application [25]. In this way, researchers can utilize the strengths of different algorithms to achieve optimal results in their face recognition projects.

2.2. Image and Video Filters

Various filters have been developed to meet specific requirements for images and videos. These filters modify the image or video to meet specific requirements. For example, old family photos could be in black and white. Certain filters can colorize these black and white images. Another example is the need to make a person's face unrecognizable in a video to protect their privacy.

In the project discussed here, the Gaussian filter was used to protect privacy by blurring. The Gaussian filter is a widely used technique in image processing, especially for smoothing images and reducing noise. It recalculates the value of each pixel based on a weighted average of the surrounding pixels, with the weights decreasing according to the Gaussian function as the distance from the center pixel increases [25]. This process softens sharp edges and effectively reduces noise.

The application of the Gaussian filter is not limited to two-dimensional images, but can also be applied to three-dimensional data, demonstrating its flexibility and versatility. It is particularly useful in facial recognition and privacy applications, where it can blur unwanted areas to ensure the confidentiality of personal data. This filter can focus on specific areas of an image to remove distractions and highlight the important parts [33].

In video recordings, the Gaussian filter can make certain faces unrecognizable if necessary. For example, to preserve privacy, it can be used to make certain faces unrecognizable so that they are difficult to identify. This aspect is crucial in scenarios where the anonymity of individuals must be preserved.

To summarize, it can be said that different filters serve different purposes in image and video processing. The Gaussian filter is characterized by its effectiveness in blurring and noise reduction, making it a valuable tool for privacy protection and image enhancement. Its ability to be applied to both 2D and 3D data further enhances its usefulness in various applications.

2.3. OpenCv

OpenCV, or the Open Source Computer Vision Library, is a highly regarded open source library in the field of image processing and computer vision. Originally developed by Intel in 2000, OpenCV provides a wealth of tools that are useful for both researchers and engineers [44].

This platform-independent library is available in several programming languages, including C++, Python, Java and MATLAB. This level of flexibility ensures that OpenCV is widely used in various applications, from academic research to commercial products [41].

The OpenCV library has an extensive range of tools, from basic image processing functions to advanced applications such as object recognition and motion analysis. It is best known for its role in the development and implementation of face recognition algorithms. OpenCV excels at recognising faces primarily through the use of Haar cascade classifiers, which are known for their high accuracy and efficiency in performing face recognition tasks [47]. Haar cascade classifiers provide fast and effective solutions and are therefore ideal for real-time applications.

One of the key strengths of OpenCV is its comprehensive set of functionalities that cover both basic and advanced requirements in image processing and computer vision. This versatility, coupled with support for multiple programming languages, has cemented OpenCV's status as one of the most important tools in the field. Whether used in research labs or integrated into commercial products, OpenCV's robust capabilities continue to drive innovation and efficiency.

In summary, OpenCV is an indispensable resource in the field of image processing and computer vision, providing indispensable tools and unparalleled flexibility. Its success in face recognition, particularly with Haar cascade classifiers, underscores its value for both real-time and high-accuracy applications. Thus, OpenCV remains a cornerstone in the toolbox of researchers and engineers alike, enabling a multitude of technological advances.

2.4. Other Image and Video Filters

In addition to the Gaussian filter, there are many other filters used in image and video processing. These filters use a variety of methods to meet specific requirements and improve image quality. Here are some commonly used filters:

2.4.1. Median Filter

The median filter is widely used to reduce noise in image processing tasks. This filter works by taking the median of the pixels in its local neighborhood for each pixel of the image. The median filter has the ability to effectively reduce sharp noises, especially salt and pepper noise [3].

The median filter uses the median of neighboring pixels to determine the value of each pixel in an image, which helps reduce sharp noise. This method is especially effective for reducing noise while maintaining image quality.

2.4.2. Sobel Filter

Sobel filter is a filter frequently used in edge detection processes. This filter calculates gradients in vertical and horizontal directions to detect edges in the image. The Sobel filter is used to determine the orientation and sharpness of edges and thus helps determine object boundaries [34].

The Sobel filter uses gradient calculations to highlight edges in the image, which is useful in object recognition and segmentation. Edge highlighting is critical to understanding the structural properties of the image.

2.4.3. Laplace Filter

The Laplace filter is used to identify sharp edges by calculating second-order derivatives in the image. This filter makes edges stand out and detects areas of rapid change in the image. Laplace filter is widely used in edge detection and sharpening [6].

The Laplace filter uses second-order derivatives to detect sudden brightness changes in the image. This is especially useful for highlighting edges and highlighting image details.

2.4.4. Bilateral Filter

A bilateral filter is a filter used to reduce noise while preserving the edges in the image. This filter takes weighted averages of pixels based on their spatial proximity and color similarity. The bilateral filter is especially effective for smoothing operations by preserving edges [33].

The Binary filter smoothes pixels by taking into account both spatial and color information. This method is especially preferred in image enhancement applications, thanks to its ability to reduce noise while preserving edges.

2.4.5. Wiener Filter

Wiener filter is a statistical filter used to reduce noise and blur in the image. This filter applies an optimal smoothing for each pixel by calculating the local variance of an image. The Wiener filter is used specifically to reduce blur and noise simultaneously [32].

The Wiener filter applies optimal smoothing by analyzing the local features of an image, thereby reducing both noise and blur. This method is effective in image enhancement and restoration processes.

3. Method and Dataset

OpenCV, a highly customizable image processing library, is compatible with numerous programming languages. This study focuses on the development of an automatic face detection and blurring application using Python and the OpenCV library. Python was chosen for its straightforward image processing capabilities and platform independence.

In the application created with OpenCV, the Haar Cascade method was used for face recognition. This technique, originally developed by Alfred Haar, facilitates the detection of objects and faces in images and can even recognize facial expressions.

The Haar cascade method includes two basic approaches to facial feature extraction: the geometric feature principle and the aspect principle. These principles significantly improve the accuracy and reliability of face recognition under different conditions.

The versatility of OpenCV also extends to its ability to handle complex image processing tasks with relative ease. Its robust functionality combined with Python's user-friendly syntax makes it an ideal choice for developing sophisticated applications. By using these tools, researchers can achieve a high level of precision in face recognition, which is crucial for numerous applications, from security systems to user interface enhancement.

The integration of OpenCV with Python is an example of a strong synergy in the field of image processing, providing researchers and developers with a powerful toolkit to advance their projects. The effectiveness of the Haar Cascade method in face recognition underlines the potential of these technologies to deliver reliable and efficient solutions in real-world scenarios.

3.1. Geometric Property Principle

The human face consists of several components, such as eyes, nose, mouth, beard and mustache. Although these features can vary in size and shape from person to person, their position on the face is usually relatively uniform. This uniformity is due to the arrangement of the facial components according to a certain ratio, commonly referred to as the golden ratio.

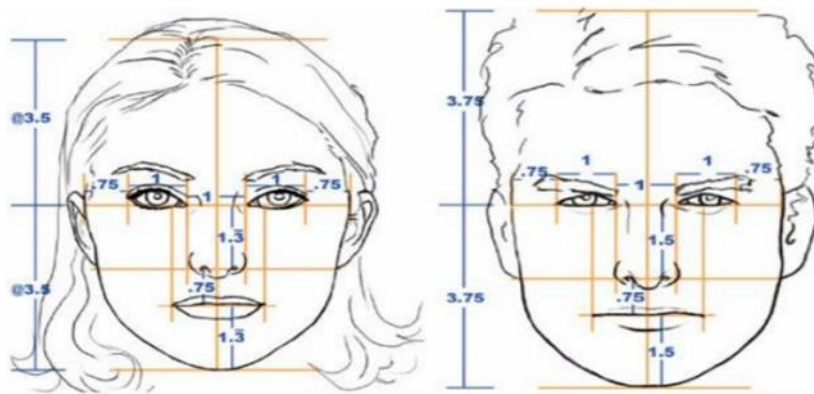


Fig. 1. Environment-Adjusted Kuznets Curve [51].

In the field of face recognition, the first phase of identification consists of extracting a feature vector that represents the face geometry based on the structure and positioning of its components. In this method, the main focus is on pupil detection. Once the pupils are identified, other facial features are then determined. Typically, the arrangement of these facial features is the same for about 95% of individuals.

The process begins with the identification of the pupils, which serve as important reference points. The positions of the other facial components are then assigned accordingly. This systematic approach ensures a high degree of accuracy in face recognition and utilizes the natural symmetry and proportions inherent in the human face.

In addition, understanding the geometric relationship between facial features helps to improving the reliability of face recognition systems. By using advanced algorithms and utilizing the golden ratio, these systems can achieve remarkable accuracy in identifying and verifying individuals.

To summarize, the uniform arrangement of facial features based on the golden ratio forms the basis for effective face recognition techniques. The careful process of recognizing key features such as the pupils and then matching other components ensures that recognition systems can operate with high accuracy and reliability in various applications.

3.2. Aspectual Principle

A pattern vector is created by applying visual filters and haar samples embellished with visual principles, analogous to Gabor filters, to specific regions of a face or to the entire face. The following section summarizes the information about the haar samples used in this study.

Haar samples, some of which were shown in Figure 2, are digital visual elements used in object recognition and diagnosis. During the recognition process, primary features of haar tufts, such as lines, corners and central points, are usually used. The process of identifying facial components in an image requires a comprehensive scan of the entire image.

In figure 2, a selection of Haar patterns are shown.

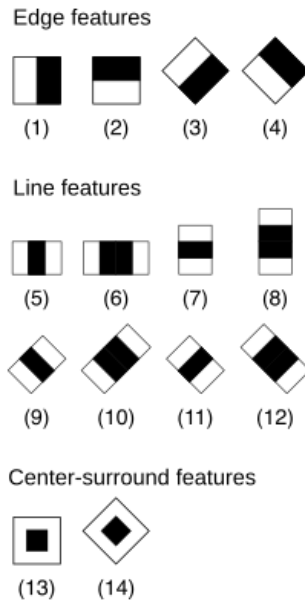


Fig. 2. Some Haar Samples.

In order to recognize human images of different sizes, it is essential to classify the classifier in an appropriate way. An effective solution is to use Haar filters instead of resizing the image [51]. In figure 3, the images of the Haar patterns used for recognizing eyes in a face are shown.



Fig. 3. Haar samples and Eye Detection [51]

In the context of face recognition, the mean value of the dark pixel area is subtracted from the mean value of the light pixel area in the image. If the resulting value exceeds a predefined threshold set during the learning phase, the Haar feature is considered applicable to the image [45].

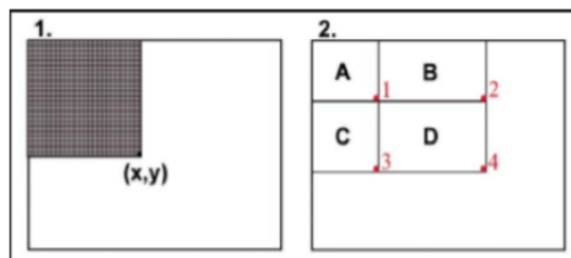


Fig. 4. The Process of Integrating an Image [52].

An integral image method is used to identify images in different quadrants and detect the presence or absence of thousands or even millions of Haar features in each image segment. The term "integral" refers to the linking of small units together. Figure 4 illustrates the integration process of an image. Jones and Viola used the AdaBoost method of machine learning to apply their Haar features in determining the optimal threshold.

Some notable Haar features are the edge feature, the line feature, and the center-periphery feature (quadrilaterality). These features enable the detection of different facial components, such as mouth, nose and ears, in one image. In addition, this method can recognize various other objects. As shown in Figure 3, the eyes were successfully identified using the Haar cascade method.

Before implementing the Haar cascade method, it is important to train the objects to be recognized. These objects can range from trees to license plates to logos. The cascade file in XML format is created as a result of the training process. In this phase, positive images that contain the object in question are compared with negative images that do not contain the object and thus subjected to a comprehensive training process. The cascade file can be created using this method, but there are also ready-made files for object recognition.



Fig. 5. Face of A Random Person Who was not Trained in The Project [42].

In figure 5, it is illustrated that the ability to recognize the face of any person in an image [42]. In figure 5, it is shown that the project places a red square around the face of a person who is not known in its dataset. In the study, the system was presented with images of specific people that it attempted to identify. As can be seen in Figure 6, the project successfully identified all the faces in the image and was able to recognize the face of a trained person [42]. In Figure 6, it can be seen that the project puts a red square around the face of a person who is not known in its dataset and a blue square around the face of the person who is known in its dataset. The system has drawn a blue square around the face of the known person, labeled it with the person's name (Yuzarseph) and enclosed the face of the unrecognized person in a red square [42].



Fig. 6. The Recognized Face of The Person Who has been Trained in The project and The Unrecognized Face of A Random Person Who has not been Trained in The Project in Question [42].

This process is similar to the way the human brain distinguishes faces in received images and recognizes familiar people. From an early age, the human brain learns general object names, characteristics and sizes. This learned data can be compared with a cascade file. The brain then identifies and distinguishes familiar people among the general objects. For example, when a baby opens its eyes and observes the world, it learns to distinguish faces, particularly those of its mother, father, siblings and relatives.

3.3. Image Filters

In addition to face recognition, the OpenCV library offers a variety of filters for image processing. These filters are widely used on platforms ranging from computers to cell phones and facilitate various image processing tasks. Image processing is a field in that digital images are analyzed and modified using various techniques. Libraries such as OpenCV offer numerous filter functions to help with these tasks, ranging from basic to advanced.

First, the `pyrUp` function enlarges an image and typically applies a Gaussian filter to estimate new pixels, doubling the image size in both dimensions [2]. Conversely, the `pyrDown` function downsizes an image, also using a Gaussian filter for resampling, effectively halving the image size [7].

Another important function is `pyrMeanShiftFiltering`, an image segmentation technique that combines color space and geometric space. This filter merges regions with similar colors and reduces noise while preserving edges, improving image segmentation by taking color and spatial information into account [16].

The `boxFilter` function smoothes an image by averaging the pixels within a certain kernel size. This blurs the image to reduce noise, but it can also attenuate edge details [14]. For more general filtering purposes, the `filter2D` function applies a two-dimensional kernel to an image and performs a convolution operation that can be customized for edge detection, blurring, or sharpening [29].

The Scharr filter, a derivative filter used to detect edges in an image, offers optimized results compared to the Sobel filter by providing better precision and less noise, making it ideal for edge detection tasks [3]. In addition, `sepFilter2D` applies a two-dimensional filter by splitting it into discrete components. This splits a 2D kernel into two 1D kernels, which reduces computational costs, especially for large kernels [2].

When building an image pyramid, the `buildPyramid` function displays images at different resolution levels, a technique useful for analyzing and blending images with multiple scales [1]. The `GaussianBlur` filter, known for its effectiveness in smoothing and noise reduction, uses a Gaussian function to blur an image, creating a natural blur that minimally affects edges [16].

For edge detection and image sharpening, the Laplacian filter uses the second derivative to highlight regions with rapid intensity changes and emphasize edges and details in the image [29]. Finally, the Sobel filter uses a series of kernels to detect edges in both horizontal and vertical directions, which is often used to emphasize edges in an image [3].

The OpenCV library's comprehensive set of filters and image processing functions, such as those mentioned above, provide researchers and engineers with robust tools that facilitate various applications in computer vision and image analysis.

3.4. The Gauss Filter

In addition to face detection, a Gaussian blur filter was used in this project to make the detected faces unrecognizable. The Gaussian blur filter is used to make objects in an image unrecognizable that should actually remain unseen. In films, for example, it is used to censor cigarettes, brands and alcohol or to make certain faces in images and videos unrecognizable.

The Gaussian filter, which is widely used in image processing, serves as a spatial filter to blur images and reduce noise. It was named after the German mathematician Carl Friedrich Gauss and is based on the principles of the Gaussian distribution [43]. This filter works by recalculating each pixel value in an image as a weighted average of its neighboring pixels. The weights used in these recalculations are determined by a Gaussian function that decreases with increasing distance from the center pixel [16].

The central mathematical basis of the Gaussian filter is the two-dimensional Gaussian function. This function assigns a weight to each pixel in the image, whereby the weights are distributed symmetrically around the central pixel. The general formula for the Gaussian function is showed below:

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\pi\sigma^2}\right) \quad (1)$$

The standard deviation of the Gaussian function which is represented in this paper by the number 1, which is denoted by σ , determines the filter size, while x and y represent the pixel coordinates [20].

The Gaussian filter smoothes high-frequency components in the image (e.g. sharp edges and noise) while emphasizing low-frequency components (e.g. broad structural areas). This leads to a reduction of details in the image, while the broad structures are retained. The ability of the Gaussian filter to preserve edges gives it an advantage over other averaging filters [8]. It is often used in image processing applications to protect privacy by blurring faces in images and to reduce noise in medical images [21]. In addition, the Gaussian filter can serve as a preprocessing step in face recognition systems to smooth facial images and thus improve the performance of recognition algorithms [21].

One of the main advantages of the Gaussian filter is its simplicity and effectiveness. It can be applied to both two-dimensional (2D) and three-dimensional (3D) data, which emphasizes its flexibility and versatility [50]. Despite its edge-preserving properties, the Gaussian filter can lead to edge blurring for very large σ -values. Therefore, the selection of a suitable σ -value depending on the application is crucial [7].

Overall, the Gaussian filter is an indispensable tool in various image processing applications as it effectively smoothes images while preserving important structural details.

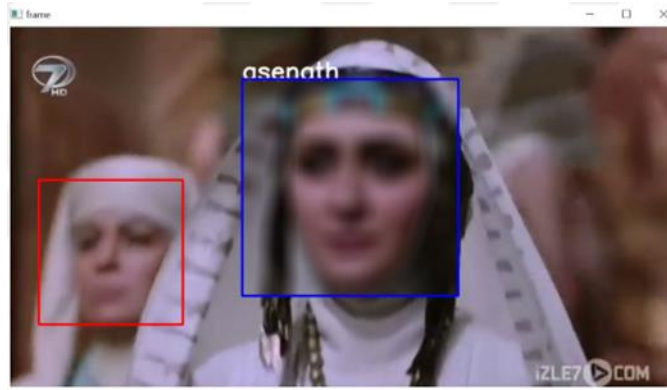


Fig. 7. Gaussian Blur Applied Face of The Person Who is Trained by The Project and Face of A Random Person Who is not Trained by The Project in question [42].

3.5. Project Introduction

As shown in Figure 7, this study demonstrates the automatic application of the Gaussian blur to a recognized face by the software. The intensity of the Gaussian blur filter can be adjusted as needed, providing flexibility depending on the requirements of the application [42].

In this study, OpenCV and Python were used to develop software that can recognize faces and apply the Gaussian blur to those faces. The software was carefully designed for the automatic application of blurring in multimedia content to ensure privacy protection. The main motivation for this project was the lack of such automatic blurring features in existing software, which highlighted the need for a tool that could seamlessly integrate privacy protection measures.

The development utilized the capabilities of OpenCV, a powerful open source library for computer vision tasks, and Python, which is known for its simplicity and effectiveness in handling image processing tasks. By combining these tools, the goal was to create a solution that not only identifies faces in images and videos, but also effectively applies Gaussian blurring to obscure them when necessary.

In essence, the project fills a significant gap in current multimedia software by providing an automated method for improving privacy. The adjustable intensity of the Gaussian blur filter further enhances the utility of the software and makes it suitable for various scenarios where privacy is of utmost importance.

3.6. Working Principle

The project was developed using the robust image processing capabilities of OpenCV combined with the versatility of Python. The workflow involves several key steps.

First, the software recognizes faces using OpenCV's pre-trained Haar cascade classifiers. These classifiers, which have been trained with various positive and negative images, are able to recognize unique facial features. Once the recognition phase is completed, the application proceeds to the next step.

In the second step, a Gaussian blur filter is applied to the detected faces so that they are no longer recognizable. This ensures anonymity and privacy protection in the processed images. The Gaussian blur recalculates each pixel value based on a weighted average of its neighbors, effectively blurring the image.

Face recognition, an important aspect of this project, is based on Haar cascade classifiers. These classifiers have been carefully trained with different image sets so that they can accurately identify specific facial features. After the detection phase, the Gaussian blur filter is applied, a standard technique in image processing to reduce details and noise while preserving the overall structure.

To summarize, this project successfully integrates face detection and blurring functions with OpenCV and Python. The key steps include detecting faces with Haar classifiers and then applying a Gaussian blur to these faces. The approach not only ensures privacy protection, but also demonstrates the powerful possibilities of combining these technologies in image processing tasks.

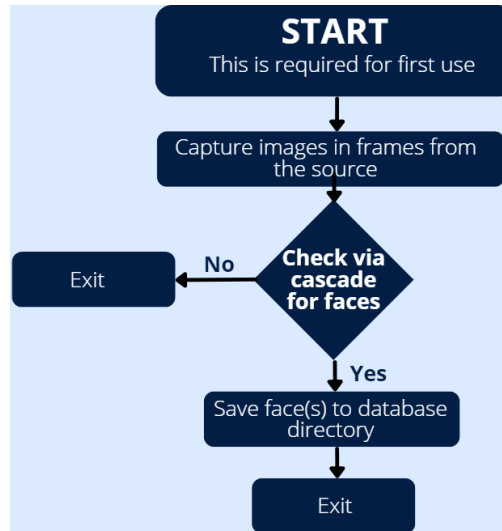


Fig. 8 (a). The following flow diagram illustrates the structure of the project's face capture module.

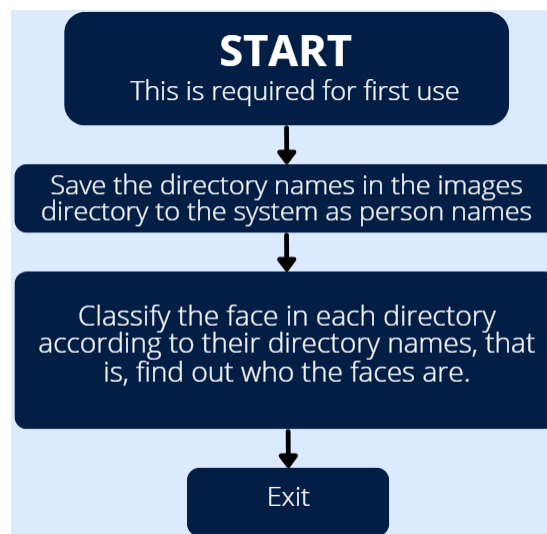


Fig. 8 (b). The following flow diagram illustrates the structure of the project's learning module.

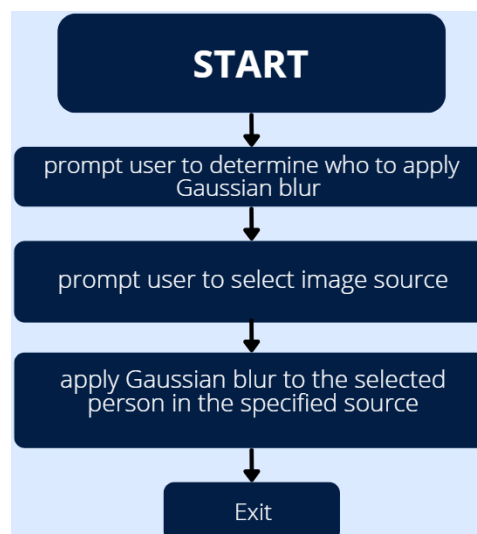


Fig. 8 (c). The following flow diagram illustrates the structure of the project's face recognition and blur module.

3.7. Working Method and Algorithm

Figure 8 provides a visual representation of the flowchart of the project. In the following sections, the development process and the software algorithm are explained in detail.

The development process started with identifying the core requirements for face recognition and blurring functionalities. Initially, OpenCV's powerful libraries were selected due to their robust image processing capabilities. Python was chosen due to its flexibility and extensive support for OpenCV.

After the initial setup, the software algorithm was developed in a series of systematic steps. First, face recognition is performed using pre-trained Haar cascade classifiers provided by OpenCV. These classifiers have been trained with a set of positive and negative images and are able to accurately recognize facial features.

Once the faces are detected, the next step is to apply a Gaussian blur filter to these recognized faces. This filter recalculates the pixel values based on the weighted average of the neighboring pixels, making the faces unrecognizable. The intensity of the Gaussian blur can be adjusted as required to ensure optimal privacy protection.

Technically, the face recognition phase relies heavily on Haar classifiers. These classifiers are designed to recognize certain features by processing the image in several stages, each increasing in complexity and specificity. The robustness of this method lies in its ability to deal with variations in lighting, angles and facial expressions.

After recognition, the Gaussian blur filter is applied. This filter, named after the German mathematician Carl Friedrich Gauss, uses a Gaussian function to weight the pixel values. The mathematical basis of this filter ensures that high-frequency components, such as sharp edges and noise, are smoothed out, while low-frequency components, such as wider structures, are retained.

In summary, the project's development process and software algorithm have been carefully designed to ensure efficient detection and blurring of faces. By utilizing the power of OpenCV and Python, the software achieves high accuracy in face detection and effectively applies the Gaussian blur filter to protect privacy.

3.7.1. Installation and Requirements

A Python environment first had to be set up for the project. Python was chosen due to its extensive library support and seamless integration options. Key libraries included OpenCV, which is known for its robust image processing capabilities, and NumPy, which is indispensable for numerical operations.

3.7.2. Face Detection

First, Haar cascade classifiers are loaded. These classifiers were trained with a large number of positive (face images) and negative (non-face images) examples. In each image of the video stream, the system searches for facial features. In this search, Haar features in different image regions are analyzed and a cascade model is used to classify and recognize faces.

3.7.3. Applying Gaussian Blur

Once faces are detected, the Gaussian blur filter is applied to the detected areas. The Gaussian blur calculates the weighted average of the pixel values surrounding a particular pixel, thus making the face unrecognizable and ensuring privacy. During application, each detected face region is blurred with a specific sigma value, obscuring the facial details and making the faces unrecognizable.

Figure 9 shows the face of a person who is not registered in the system. In figure 9, it is seen that the project puts a red square around the face of a person who is not known in its dataset

In Figure 10, we see the face of a person who is known to the system, but to whom no blurring has been applied.

As can be seen in Figure 11, the face of a registered person is outlined in blue, while the face of a non-registered person is outlined in red. The software is able to recognize multiple faces in a single visual frame.

Figure 12 illustrates the project's image directory. Faces to be trained to the software are stored in directories labeled with their respective names. The software's learning module is then executed, which completes the learning process by creating a cascade file based on this data.

In Figure 13, the software automatically blurs faces that cannot be recognized by the cascade file due to their low resolution, thus ensuring privacy [42]. The software has a minimum resolution threshold; if a detected face falls below this threshold, it is automatically blurred. In figure 13, a face is marked with the green frame that is blurred due to its low resolution.

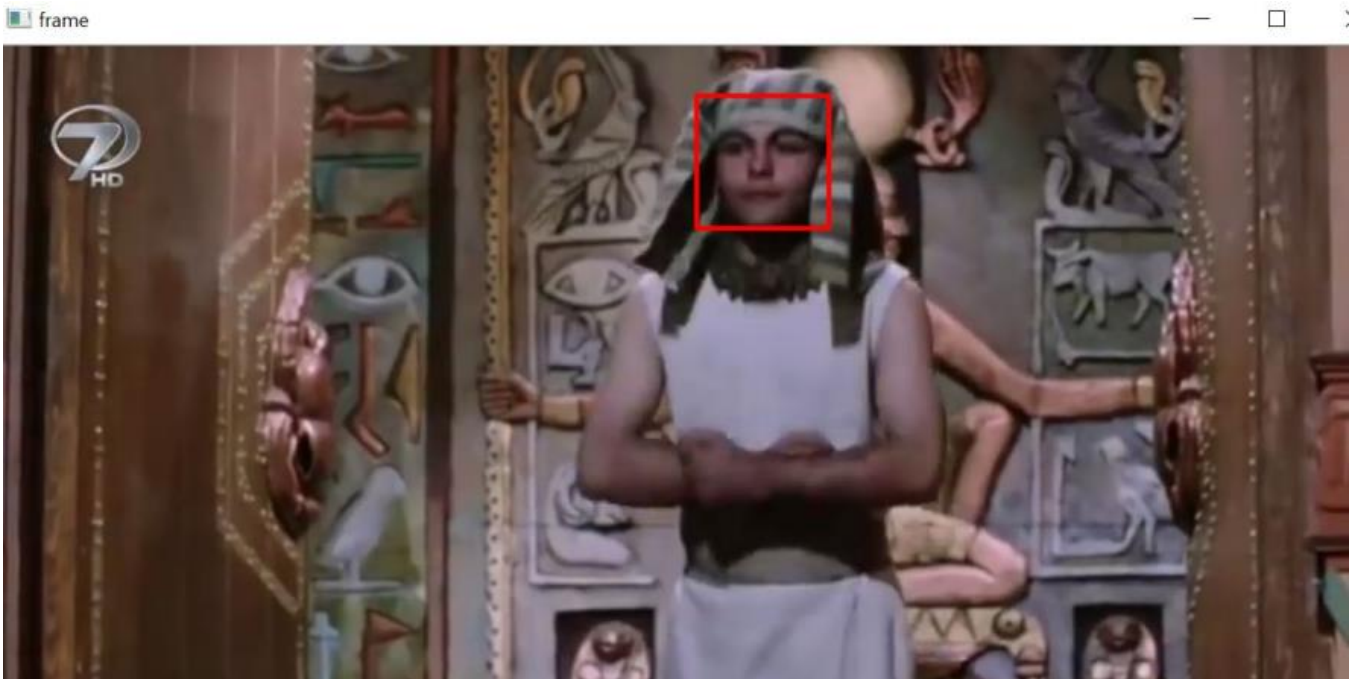


Fig. 9: An Unrecognized Face [42].



Fig. 10: The Face That Gaussian Blur has not been Applied of A Person Who is Trained by The Project [42].



Fig. 11: Face of Trained Person in The Software and Untrained Person [42].

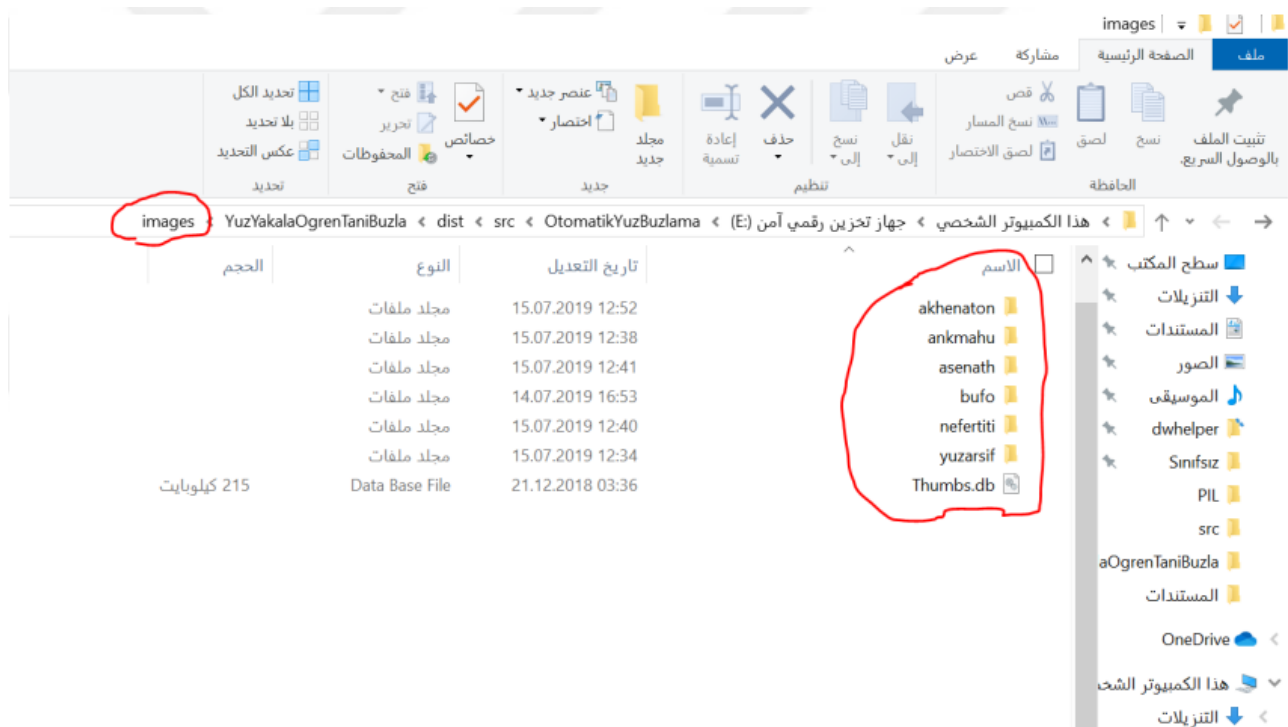


Fig. 12: Images Directory

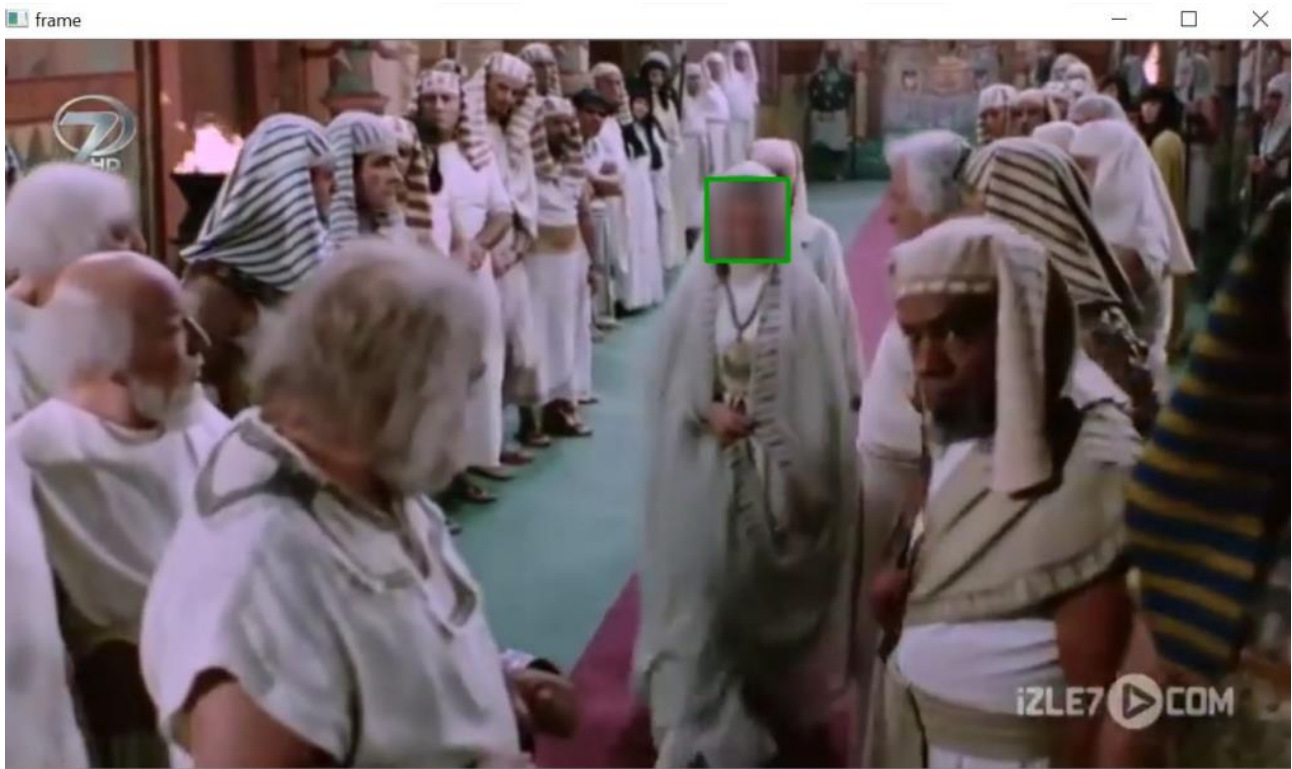


Fig. 13: Application of Gaussian Blur to Low-Resolution Faces [42]

4. Results

OpenCV is a widely used library for image processing on various platforms. Python is a user-friendly and platform-independent language that makes audio and video processing effortless [2]. In this study, software was developed that performs face recognition with OpenCV using Python and optionally applies Gaussian blur to the detected faces. The need for this software arises from the lack of existing software that performs the blurring process automatically [28]. For images with multiple objects that need to be blurred, each object must be blurred individually [44].

While the blurring process is relatively simple for still images, it is much more difficult for videos [43]. This project aims to solve this problem and was tested on a segment of the series that tells the well-known story of Prophet Joseph (PBUH), also known as Yuzarseph [42].

Figures 5, 6 and 7 summarize these tests. The success of the project is satisfactory, although several factors diminish this success. These factors include:

- Changes in lighting conditions: These have a significant impact on the accuracy of face recognition.
- The limitation of OpenCV to a single cascade file of a particular type: Processing multiple cascade files within a single file is challenging for OpenCV [27].
- Degradation of image clarity and resolution: Image resolution is crucial for the quality of face recognition and blurring.
- Degradation of image clarity and resolution: Image resolution is critical to the quality of face recognition and blurring.
- The inability to capture all angles of the subject in a single cascade file: The limited coverage of perspective in a single cascade file reduces the robustness of the recognition process [7].

To solve these problems, the following solutions were found:

- Consideration of illumination conditions: Ensuring uniform and appropriate illumination during image acquisition can improve recognition accuracy.

- Ensuring high image resolution: Using high-resolution images improves the quality of face recognition and subsequent blurring [3].
- Creating different threads and assigning different cascades to these threads: To overcome the limitation of OpenCV in terms of the number of cascades that can be stored in a single file, different threads can be created, each assigned to different cascades [34].
- Inclusion of comprehensive visual representations when creating cascade files: Including multiple viewpoints and perspectives of the face in the cascade file improves the robustness of recognition.

This approach ensures that the developed software effectively addresses the identified challenges, thus improving the overall efficiency and reliability of face recognition and blurring process in video sequences. Future work could focus on the integration of machine learning techniques to further improve the recognition accuracy under different conditions [1].

References

- [1] C. M. Bishop, Pattern recognition and machine learning. Springer, 2006.
- [2] G. Bradski, and A. Kaehler, Learning OpenCV: Computer vision with the OpenCV library. O'Reilly Media, Inc, 2008.
- [3] R. C. Gonzalez, and R. E. Woods, Digital image processing. Prentice Hall, 2008.
- [4] R. C. Gonzalez, and R. E. Woods, Digital image processing (4th ed.). Pearson, 2018.
- [5] I. Goodfellow, Y. Bengio, and A. Courville, Deep Learning. MIT Press, 2016.
- [6] A. Jain, Fundamentals of digital image processing. Prentice-Hall. Press, 1989.
- [7] A. Jain and S. Li, Handbook of Face Recognition. Springer, 2011.
- [8] A. K. Jain, R. Kasturi and B. G. Schunck, Machine vision. McGraw-Hill, 1995.
- [9] V. M. Patel and R. Chellappa, Sparse representations and compressive sensing for imaging and vision. Springer, 2014.
- [10] S. J. D. Prince, Computer vision: Models, learning, and inference. Cambridge University Press, 2012.
- [11] J. C. Russ, The image processing handbook. CRC press, 2011.
- [12] Datagen. Facial recognition algorithms and libraries you should know, 2022. [Online]. Available: <https://www.datagen.tech/blog/facial-recognition-algorithms-and-libraries-you-should-know>.
- [13] R. Szeliski, Computer vision: Algorithms and applications. Springer, 2010.
- [14] S. Kulkarni, Understanding image filtering techniques in image processing, 2023.. [Online]. Available: <https://www.imageprovision.com/articles/understanding-image-filtering-techniques-in-image-processing>.
- [15] T. Ahonen, A. Hadid, and M. Pietikäinen, Face Description with Local Binary Patterns: Application to Face Recognition. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 28, no. 12, pp. 2037-2041, 2006. [Abstract]. Available: ProQuest, <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=2037884>.
- [16] P. J. Burt and E. H. Adelson, The Laplacian Pyramid as a Compact Image Code. IEEE Transactions on Communications, vol. 31, no. 4, pp. 532-540, 1983. <https://doi.org/10.1109/TCOM.1983.1095851>.
- [17] J. Azmeen, and D. J. Borah, (2021). Face recognition techniques and challenges: A review. In N. Marriwala, C. C. Tripathi, S. Jain, & S. Mathapathi (Eds.), Soft computing for intelligent systems (pp. 345-360). Springer, 2021. https://doi.org/10.1007/978-981-16-1048-6_27
- [18] A. Bhat, R. K. Jha, and V. Kedia, Robust face detection and recognition using image processing and OpenCV. In 2022 6th International Conference on Computing Methodologies and Communication (ICCMC). IEEE. , 2022. <https://doi.org/10.1109/ICCMC53470.2022.9753792>

- [19] V. Bhavani, K. S. Priya, A. K. Sirivarshitha, and K. Sravani, An approach for face detection and face recognition using OpenCV and face recognition libraries in Python. In 2023 9th International Conference on Advanced Computing and Communication Systems (ICACCS). IEEE., 2023. <https://doi.org/10.1109/ICACCS57279.2023.10113066>
- [20] L. M. Gladence, M. M. Khan, S. Mohammad, et al. 2022 6th International Conference on Computing Methodologies and Communication (ICCMC). IEEE., 2022. <https://doi.org/10.1109/ICCMC53470.2022>
- [21] N. Kumar, A. C. Berg, P. N. Belhumeur, and S. K. Nayar, Attribute and Simile Classifiers for Face Verification. Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision, 2009.
- [22] R. Lienhart, and J. Maydt, An Extended Set of Haar-like Features for Rapid Object Detection. Proceedings of the IEEE International Conference on Image Processing. IEEE, 2002.
- [23] C. Liu, and H. Wechsler, Enhanced Fisher Linear Discriminant Models for Face Recognition. Proceedings of the IEEE International Conference on Image Processing. IEEE, 2003.
- [24] Masi, I., Tran, A. T., Hassner, T., and Medioni, G. Pose-aware face recognition in the wild. Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. IEEE, 2018.
- [25] O. M. Parkhi, A. Vedaldi and A. Zisserman, Deep face recognition. British Machine Vision Conference, 2015.
- [26] S. Ren, K. He, R. Girshick and J. Sun, Faster R-CNN: Towards Real-Time Object Detection with Region Proposal Networks. Advances in Neural Information Processing Systems, 2015.
- [27] P. Viola and M. J. Jones, Rapid object detection using a boosted cascade of simple features. Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2001), 1, I-511-I-518, 2001. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2001.990517>
- [28] I. Bamba, J. Yashika, Singh and P. Chawla, Face recognition techniques and implementation. Manav Rachna International Institute of Research and Studies, Faridabad, Haryana, India, 2022.
- [29] M. Ganvir, A. Panchabhai, N. Sakhare, R. Thelkar and K. Wani, Face recognition using OpenCV. Rashtrasant Tukadoji Maharaj Nagpur University, Nagpur, Maharashtra, India, 2023.
- [30] P. J. Phillips, et al, The FERET evaluation methodology for face-recognition algorithms. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 22, no. 10, pp. 1090-1104, 2000.
- [31] W. Zhao, R. Chellappa, A. Rosenfeld and P. J. Phillips, Face recognition: A literature survey. ACM Computing Surveys, vol. 35, no. 4, pp. 399-458, 2003. <https://doi.org/10.1145/954339.954342>
- [32] N. Wiener, Extrapolation, Interpolation, and Smoothing of Stationary Time Series. MIT Press, 1949
- [33] C. Tomasi and R. Manduchi, Bilateral Filtering for Gray and Color Images. Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision. IEEE, 1998. <https://doi.org/10.1109/ICCV.1998.710815>
- [34] I. Sobel, An Isotropic 3x3 Image Gradient Operator. HPLABS, Measurement and Manufacturing Research Center. [Online]. Available: https://researchgate.net/publication/239398674_An_Isotropic_3x3_Image_Gradient_Operator.
- [35] H. Bay, T. Tuytelaars, and L. Van Gool, SURF: Speeded Up Robust Features. European Conference on Computer Vision, 2006.
- [36] D.G. Lowe, Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints. International Journal of Computer Vision, vol. 60, no. 2, 2004.
- [37] Y. Taigman, M. Yang, and L. Wolf, DeepFace: Closing the Gap to Human-Level Performance in Face Verification. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2014.
- [38] N. Dalal and B. Triggs, Histograms of Oriented Gradients for Human Detection. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2005.

- [39] D. Aydemir, Revitalizing Turkish Mythological Elements through Artificial Intelligence Applications in Graphic Design: A Case Study on Midjourney, *ISVOS*, vol. 7, no. 2, pp. 187–205, 2023, <https://doi.org/10.47897/bilmes.1400144>.
- [40] E. Avuçlu, Examining The Effect of Pre-processed Covid-19 Images On Classification Performance Using Deep Learning Method, *ISVOS*, vol. 7, no. 2, pp. 94–102, 2023, <https://doi.org/10.47897/bilmes.1359954>.
- [41] V. Karaca and E. Yaşar, “Performing Distance Measurements Of Fixed Objects Detected With Yolo Using Web Camera”, *ISVOS*, c. 8, sy. 1, ss. 87–93, 2024, <https://doi.org/10.47897/bilmes.1502873>.
- [42] F. Salahshoor (Director), Prophet Joseph [TV series]. IRIB, 2008.
- [43] M.Sonka, V. Hlavac and R. Boyle, *Image processing, analysis, and machine vision*. Cengage Learning, 2014.
- [44] Itseez. Open Source Computer Vision Library, 2015. [Online]. Available: <https://opencv.org/>.
- [45] K. Fukunaga and L. D. Hostetler, The Estimation of the Gradient of a Density Function, with Applications in Pattern Recognition. *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 21, no. 1, pp. 32-40, 1975. [Abstract]. Available: ProQuest, <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=2651561>.
- [46] R. Lini, Different filters for image processing, 2021. [Online]. Available: <https://medium.com/@rajilini/different-filters-for-image-processing-698e72924101>.
- [47] G. Bradski, *The OpenCV Library*. Dr. Dobb's Journal of Software Tools, 2000.
- [48] D. Comaniciu and P. Meer, Mean shift: A robust approach toward feature space analysis. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 24, no. 5, pp. 603-619, 2002. <https://doi.org/10.1109/34.1000236>.
- [49] A. Majumdar and R. K. Ward, Robust Classifiers for Data Reduced via Random Projections. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics)*, vol. 40, no. 5, pp. 1359-1371, 2010. <https://doi.org/10.1109/TSMCB.2009.2038493>.
- [50] P. Turaga, R. Chellappa, V. S. Subrahmanian and O. Udrea, Machine recognition of human activities: A survey. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 18, no. 11, pp. 1473-1488, 2008. [Abstract]. Available: ProQuest, <https://ieeexplore.ieee.org/document/4633644>.
- [51] G. Özmen and R. Kandemir, Haar Dalgacıkları ve Kübik Bezier Eğrileri İle Yüz İfadesi Tespiti. *ELECO '2012 Elektrik - Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu*, 2012.
- [52] K. Kadir, M. K. Kamaruddin, H. Nasir, S. Safie, Z. Bakti, A comparative study between LBP and Haar-like features for Face Detection using OpenCV. *ICE2T 4th International Conference on Engineering Technology and Technopreneuship*, 2014.

Deep Learning Approaches for Retinal Image Classification: A Comparative Study of GoogLeNet and ResNet Architectures

Kerem Gencer ^{a,1}, Gülcan Gencer ^b, İnanet Hakkı Çizmeci ^c

^a Afyon Kocatepe University, Department of Computer Engineering, Afyonkarahisar, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-2914-1056

^b Afyonkarahisar Health Sciences University, Department of Biostatistics and Medical Informatics, Afyonkarahisar, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-3543-041X

^c Afyon Kocatepe University, Department of Computer Engineering, Afyonkarahisar, Türkiye
ORCID ID: 0000-0001-6202-4807

Abstract

This study evaluates the performance of four deep learning models, namely GoogLeNet (InceptionV3), ResNet-18, ResNet-50, and ResNet-101, in classifying Optical Coherence Tomography (OCT) images. Images were pre-processed by resizing them to 224x224 pixels and normalizing the pixel values. The models were fine-tuned using pre-trained weights from ImageNet dataset and trained for 10 iterations using categorical_crossentropy loss function and Adam optimizer. Performance metrics such as accuracy, precision, recall, specificity, and F1 score were calculated for each model. The results show that ResNet-101 outperforms other models with 96.69% accuracy, 96.85% sensitivity, and 98.90% specificity. ResNet-50 also showed high performance, while ResNet-18 showed the lowest performance with 33.99% accuracy. GoogLeNet achieved moderate results with 72.21% accuracy. ROC curves and confusion matrices are used to visualize the classification performance. ResNet-101 and ResNet-50 show superior performance in all classes, while ResNet-18 and GoogLeNet have higher misclassification rates. This study highlights the importance of model depth and residual connections in improving the classification performance of OCT images. The findings show that deeper models such as ResNet-50 and ResNet-101 are more effective in capturing complex features, leading to better classification accuracy.

Keywords: “OCT, deep learning, GoogLeNet, ResNet-18, ResNet-50, ResNet-101, retinal disease classification.”

1. Introduction

In recent years, rapid advances in deep learning and its applications in medical imaging have shown significant potential to increase diagnostic accuracy and efficiency. One of the notable applications is the classification of Optical Coherence Tomography (OCT) images, which are widely used in the detection and monitoring of various retinal diseases. OCT imaging provides detailed cross-sectional views of the retina, allowing the identification of subtle changes associated with diseases such as Choroidal Neovascularization (CNV), Diabetic Macular Edema (DME), and Drusen [1]. The dataset provided by Kermany et al. (2018) [1] has become a reference for evaluating the performance of deep learning models in OCT image classification. The availability of such a comprehensive dataset has facilitated the development and comparison of various deep learning architectures aimed at improving diagnostic accuracy and supporting clinical decision making.

Several studies have demonstrated the effectiveness of convolutional neural networks (CNNs) in medical image classification tasks, including OCT image classification. There are many studies on this topic in the literature [2-6]. CNNs are particularly suitable for this purpose due to their ability to automatically learn hierarchical features from raw image data [7, 8]. However, the high dimensionality of image data causes difficulties in terms of training and inference and often necessitates the use of dimensionality reduction techniques [9]. In this study, multiple deep learning models were evaluated for OCT image classification. Classification operations were performed using four different deep learning models. The model architectures are GoogLeNet (InceptionV3), ResNet-18, ResNet-50 and ResNet-101. Comparing these four models is important to understand how deep learning models can perform at different depths and structures. Furthermore, determining the advantages and limitations of each model will shed light on more effective model selection and applications for future studies. The results of this study will contribute to the determination of the most appropriate model for OCT image classification and further research in this field [10-12]. Previous studies have shown that integrating deep learning models into clinical practice can significantly improve

¹ Corresponding Author
E-mail Address: keremgencer09@hotmail.com

diagnostic accuracy, reduce the burden on clinicians, and potentially lead to earlier detection of retinal diseases [13-16]. By systematically comparing these models, we aim to identify the most effective approach for OCT image classification and ultimately contribute to the advancement of automated diagnostic tools in ophthalmology.

2. Material and Method

The dataset used in this study is the publicly available OCT dataset provided by Kermany et al. [1]. The dataset consists of a total of 108,312 optical coherence tomography (OCT) images for four different retinal conditions (NORMAL, CNV, DME, DRUSEN). The dataset is divided into three parts: training, validation, and test. Training Set: 80,000 images, validation set: 20,000 images, test set: 8,312 images. Data preprocessing steps include resizing and scaling of images. All images are resized to 224x224 pixels and pixel values are scaled to the range [0, 1]. ImageDataGenerator is used for this process. Classification operations are performed using four different deep learning models. Model architectures are GoogLeNet (InceptionV3), ResNet-18, ResNet-50, and ResNet-101. The training of the models was performed using the categorical_crossentropy loss function and the adam optimization algorithm. The models were trained using the weights previously trained on the ImageNet dataset. The final layers of the models were arranged to represent four classes in the dataset. During the training process, the accuracy and loss values in the training and validation datasets were monitored. The models were trained for 10 epochs. The ROC curve and confusion matrix for each model are presented in graphs. Performance metrics are given in the form of tables, and the accuracy, sensitivity, specificity and F1 score of each model are calculated. Comparing these four models is important to understand how deep learning models can perform at different depths and structures. The modular structure of GoogLeNet, the residual connections of ResNet models and the number of layers at different depths allow us to see how model performance and computational costs are affected by the model. Each of these models represents different deep learning strategies and optimization techniques, so they offer various advantages and disadvantages when comparing.

2.1. GoogLeNet (InceptionV3)

GoogLeNet is a deep learning architecture developed by Google in 2014 and won the first place in the ImageNet Large-Scale Visual Recognition Challenge. InceptionV3 is a more advanced version of this architecture and has a deeper and wider network structure. Inception modules minimize information loss by combining the output of filters of different sizes [17].

2.2. ResNet-18

ResNet-18 is a model developed by Microsoft Research that allows deep learning networks to be deeper by using residual connections. It consists of 18 layers and solves the gradient descent problem by using residual connections. This model offers lower computational costs while preserving the advantages of deeper models[10].

2.3. ResNet-50

ResNet-50 is a deeper version of ResNet-18, consisting of a total of 50 layers. This model has the capacity to learn more complex features and, thanks to residual connections, it enhances the trainability of the network even at this depth. ResNet-50 offers significantly better performance, especially on large datasets and more complex image processing tasks, thereby improving the classification accuracy of deep learning models [10].

2.4. ResNet-101

ResNet-101 is a deeper version of the ResNet-50 model and consists of 101 layers. As the depth increases, it becomes possible to learn more complex features. This model also increases the trainability of deeper networks by using residual connections [18].

3. Experimental Results and Discussions

In Table 1, GoogLeNet model shows a good performance with 72.21% accuracy rate. ResNet-18 model shows a very low performance compared to other models. It has the lowest performance with 33.99% accuracy rate and 25.93% F1 score. ResNet-50 model shows a high performance with 88.84% accuracy rate and 92.05% sensitivity rate. 96.28% specificity rate and 88.36% F1 score show that this model has a good performance in general. ResNet-101 model shows the highest performance. It gives the best results with 96.69% accuracy rate, 96.85% sensitivity rate and 98.90% specificity rate. 96.69% F1 score also confirms that this model is successful.

Table 1. Model Performance Metrics.

Model	Accuracy	Precision	Recall	Specificity	F1 Score
GoogLeNet	0.7221	0.8331	0.7221	0.9074	0.6693
ResNet-18	0.3399	0.4922	0.3399	0.7800	0.2593
ResNet-50	0.8884	0.9205	0.8884	0.9628	0.8836
ResNet-101	0.9669	0.9685	0.9669	0.9890	0.9669

Fig. 1. shows the ROC curves of four different models. ROC curves evaluate the classification performance of each model for four classes (class 0, class 1, class 2, class 3). The area under the curves (AUC) shows the classification success of the model. While the GoogLeNet model has 92% and 99% AUC values for class 0 and class 3, it shows a lower performance with 70% for class 2. The ResNet-50 model shows a very high performance with 99% or 100% AUC values for all classes. In the ResNet-18 model, lower AUC values are observed for class 0, class 1 and class 2, while it shows the highest performance with 89% AUC value for class 3. The ResNet-101 model shows an excellent performance with 100% AUC values for all classes. In general, ResNet-50 and ResNet-101 models show the highest performance, while GoogLeNet and ResNet-18 models show lower performance in some classes. This shows that ResNet-50 and ResNet-101 models are more successful in classification tasks. As shown in Table 2, our study has high performance rates compared to other studies in the literature.

Table 2. Comparison of Studies.

	Dataset	Accuracy (%)	Sensitivity (%)	Specificity (%)
This study (2024)	Kermany OCT	96.69	96.85	98.90
Rajagopalan et al. (2021) [19]	UCSD	95.70	-	-
Yoon et al. (2020)	OCT	93.80	90.00	99.10

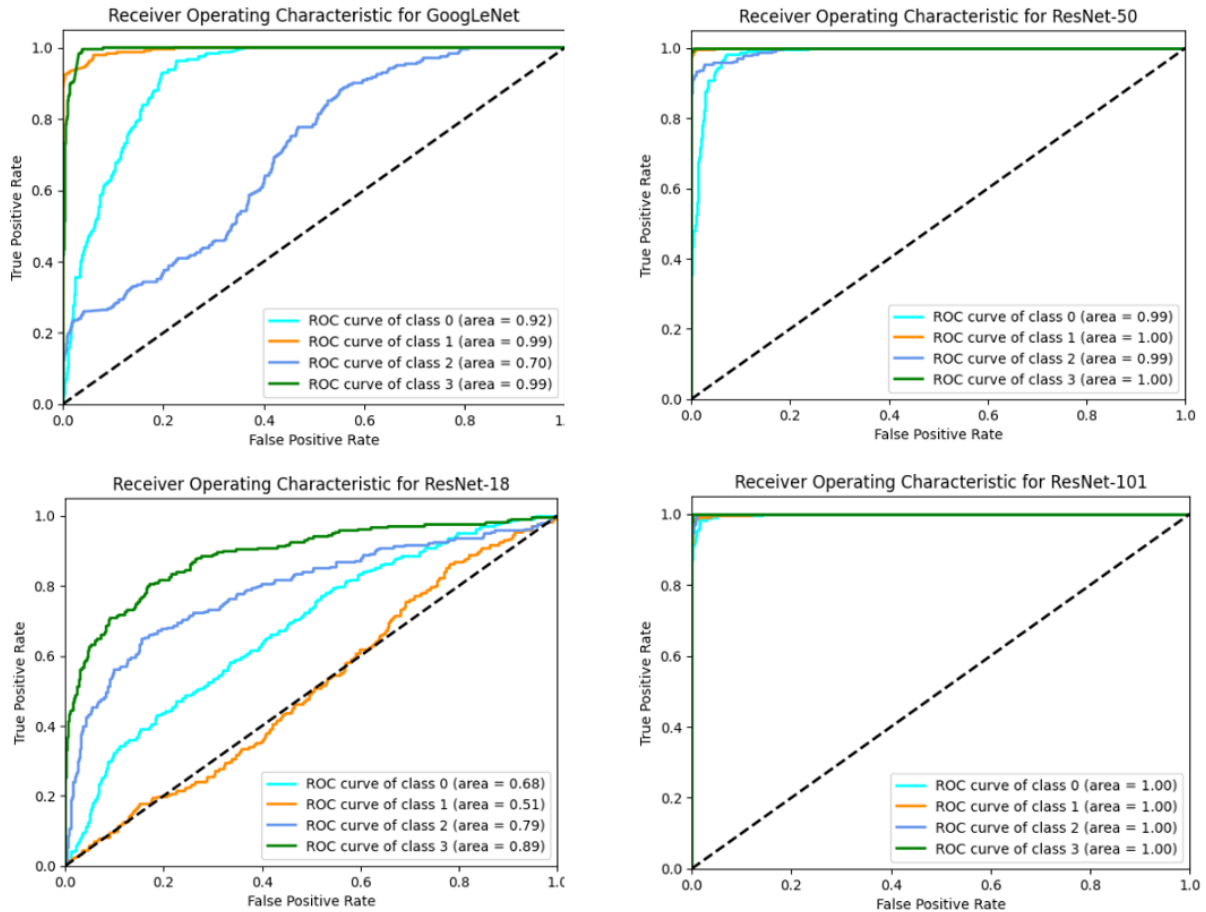


Fig. 1. ROC Curves for Different Models.

Fig.2. shows the confusion matrices of four different models (GoogLeNet, ResNet-50, ResNet-18, ResNet-101). Each confusion matrix compares the actual and predicted class labels of the model for four different classes (NORMAL, CNV, DME, DRUSEN). The confusion matrix of the GoogLeNet model shows high accuracy in classification, especially in NORMAL and DRUSEN classes, while it has a large number of misclassifications in the DME class. The confusion matrix of the ResNet-18 model shows low accuracy in all classes, especially in NORMAL and DME classes, with a significant number of misclassifications. On the other hand, the ResNet-50 model shows high correct classification rates in all classes, while it has a

significant improvement in the DME class. The confusion matrix of the ResNet-101 model shows almost perfect correct classification rates in all classes and exhibits the best performance compared to other models. Overall, ResNet-50 and ResNet-101 models show superior performance with high accuracy and low misclassification rates, while the ResNet-18 model has the lowest performance. The GoogLeNet model exhibits a moderate performance.

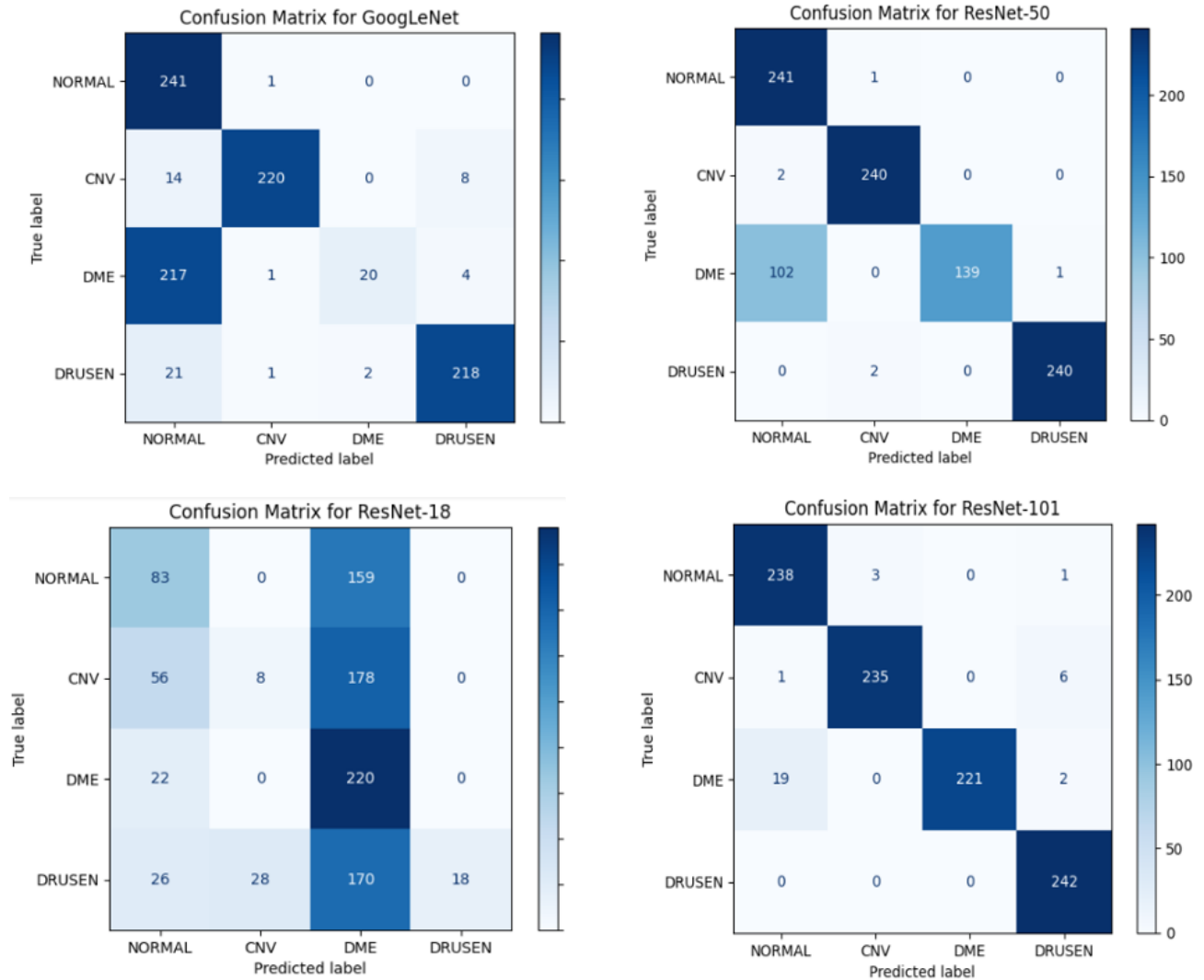


Fig. 2. Confusion Matrices for Different Models.

4. Conclusions and Future Works

In this study, we evaluated the performance of four deep learning models, namely GoogLeNet (InceptionV3), ResNet-18, ResNet-50, and ResNet-101, on the classification of OCT images. Our results show that deeper models, such as ResNet-50 and ResNet-101, significantly outperform shallower models, such as ResNet-18 and GoogLeNet, in terms of accuracy, precision, recall, specificity, and F1 score. GoogLeNet achieved a moderate performance with 72.21% accuracy, achieving strong results in NORMAL and DRUSEN classes, but showing weaker performance in the DME class. ResNet-18, with 33.99% accuracy, showed the lowest performance in all metrics, demonstrating its limitations in handling complex OCT image classification tasks. On the other hand, ResNet-50 and ResNet-101 exhibited outstanding performance, with ResNet-101 achieving the highest accuracy of 96.69%, sensitivity of 96.85%, and specificity of 98.90%. These results indicate that deeper networks with residual connections can effectively capture complex features in OCT images and lead to more accurate classifications. ROC curves and confusion matrices further confirm these findings, showing that ResNet-50 and ResNet-101 have higher AUC values and fewer misclassifications compared to other models. These models show robust performance in all classes, highlighting their potential for clinical applications in ophthalmology.

Future work should focus on several key areas to further improve the performance and applicability of deep learning models in OCT image classification. First, increasing the diversity and size of the training dataset can help improve the generalization capabilities of the models. Combining data augmentation techniques and synthetic data generation can also reduce the challenges posed by limited labeled data. Second, exploring advanced model architectures and techniques such as attention mechanisms and

ensemble learning can lead to better performance. Attention mechanisms can help models focus on critical regions in images, while ensemble learning can leverage the strengths of multiple models to achieve higher accuracy and robustness. Third, integrating interpretability and explainability methods into models will be crucial for clinical adoption. Understanding the decision-making process of deep learning models can build trust among healthcare professionals and facilitate the integration of these models into routine clinical practice. Finally, future research should investigate the real-time deployment of these models in clinical settings. Developing efficient algorithms for rapid inference and implementing models on edge devices can enable point-of-care diagnoses, improve accessibility, and reduce the time required for disease detection.

In conclusion, this study demonstrates the potential of deep learning models, particularly ResNet-50 and ResNet-101, for accurate OCT image classification. By focusing on the future studies outlined, we can further advance the field and contribute to the development of reliable and effective diagnostic tools for retinal diseases.

References

- [1] D. S. Kermany *et al.*, "Identifying medical diagnoses and treatable diseases by image-based deep learning," *cell*, vol. 172, no. 5, pp. 1122-1131. e9, 2018.
- [2] T. S. Apon, M. M. Hasan, A. Islam, and M. G. R. Alam, "Demystifying deep learning models for retinal OCT disease classification using explainable AI," in *2021 IEEE Asia-Pacific Conference on Computer Science and Data Engineering (CSDE)*, 2021: IEEE, pp. 1-6.
- [3] A. Khan, K. Pin, A. Aziz, J. W. Han, and Y. Nam, "Optical coherence tomography image classification using hybrid deep learning and ant colony optimization," *Sensors*, vol. 23, no. 15, p. 6706, 2023.
- [4] F. Li *et al.*, "Deep learning-based automated detection of retinal diseases using optical coherence tomography images," *Biomedical optics express*, vol. 10, no. 12, pp. 6204-6226, 2019.
- [5] X. Liu *et al.*, "A deep learning based pipeline for optical coherence tomography angiography," *Journal of Biophotonics*, vol. 12, no. 10, p. e201900008, 2019.
- [6] J. Yoon *et al.*, "Optical coherence tomography-based deep-learning model for detecting central serous chorioretinopathy," *Scientific reports*, vol. 10, no. 1, p. 18852, 2020.
- [7] G. Litjens *et al.*, "A survey on deep learning in medical image analysis," *Medical image analysis*, vol. 42, pp. 60-88, 2017.
- [8] S. K. Zhou *et al.*, "A review of deep learning in medical imaging: Imaging traits, technology trends, case studies with progress highlights, and future promises," *Proceedings of the IEEE*, vol. 109, no. 5, pp. 820-838, 2021.
- [9] G. E. Hinton and R. R. Salakhutdinov, "Reducing the dimensionality of data with neural networks," *science*, vol. 313, no. 5786, pp. 504-507, 2006.
- [10] K. He, X. Zhang, S. Ren, and J. Sun, "Deep residual learning for image recognition," in *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, 2016, pp. 770-778.
- [11] K. Simonyan and A. Zisserman, "Very deep convolutional networks for large-scale image recognition," *arXiv preprint arXiv:1409.1556*, 2014.
- [12] C. Szegedy, S. Ioffe, V. Vanhoucke, and A. Alemi, "Inception-v4, inception-resnet and the impact of residual connections on learning," in *Proceedings of the AAAI conference on artificial intelligence*, 2017, vol. 31, no. 1.
- [13] J. De Fauw *et al.*, "Clinically applicable deep learning for diagnosis and referral in retinal disease," *Nature medicine*, vol. 24, no. 9, pp. 1342-1350, 2018.
- [14] V. Gulshan *et al.*, "Development and validation of a deep learning algorithm for detection of diabetic retinopathy in retinal fundus photographs," *jama*, vol. 316, no. 22, pp. 2402-2410, 2016.
- [15] C. Mohanty, S. Mahapatra, B. Acharya, F. Kokkoras, V. C. Gerogiannis, I. Karamitsos, and A. Kanavos, "Using deep learning architectures for detection and classification of diabetic retinopathy," *Sensors*, vol. 23, no. 12, p. 5726, 2023.

- [16] R. Chavan and D. Pete, "Automatic multi-disease classification on retinal images using multilevel glowworm swarm convolutional neural network," *Journal of Engineering and Applied Sciences*, vol. 71, no. 26, 2024. <https://doi.org/10.1186/s44147-023-00335-0>
- [17] C. Szegedy, V. Vanhoucke, S. Ioffe, J. Shlens, and Z. Wojna, "Rethinking the inception architecture for computer vision," in *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, 2016, pp. 2818-2826.
- [18] G. Huang, Z. Liu, L. Van Der Maaten, and K. Q. Weinberger, "Densely connected convolutional networks," in *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, 2017, pp. 4700-4708.
- [19] N. Rajagopalan, V. Narasimhan, S. K. Vinjimoor, and J. J. Aiyer, "Deep CNN framework for retinal disease diagnosis using optical coherence tomography images," *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, vol. 12, pp. 7569–7580, 2021.

Structure Elucidation of Schiff Base-Containing Compound by Quantum Chemical Methods

Sultan Başak^a, Cem Cüneyt Ersanlı^{b,1}

^a Sinop University, Institute of Postgraduate Education, Department of Interdisciplinary Quantum Systems Modelling, Sinop, Türkiye
ORCID ID: 0000-0003-0541-3667

^b Sinop University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Physics, Sinop, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-8113-5091

Abstract

Schiff bases, named after German chemist Hugo Schiff, are compounds with a central functional group containing an imine or azomethine (-C=N-) linkage. They have been extensively studied in various fields such as organic synthesis, coordination chemistry, and medicinal chemistry due to their diverse properties and wide range of applications. Schiff bases have been extensively utilized in scientific research since their discovery due to their multifaceted properties. The intense focus on Schiff bases in the literature stems from their versatile characteristics. This study aims to elucidate the theoretical physical and chemical properties of a compound containing a Schiff base, (Z)-4-(2,6-dichlorophenyldiazenyl)-6-([1,3-dihydroxy-2-(hydroxymethyl)propan-2-ylamino]methyl)-2-methoxycyclohexa-2,4-dienone, whose structure was previously experimentally elucidated by X-ray diffraction. GaussView 4.1.2 and Gaussian 03W were employed to determine the compound's physical and chemical properties. Based on experimental and theoretical geometric parameters, the compound was observed to possess a keto-amine tautomeric form and exhibit high aromaticity, as evidenced by computational HOMA indices. The compound's electrophilic and nucleophilic regions were illuminated based on identified frontier molecular orbitals and electronic parameters derived from these orbitals, indicating its stability. These findings were supported by molecular electrostatic potential maps, revealing electrophilic and nucleophilic attack regions on the structure. Polarizability anisotropy ($\Delta\alpha$) and hyperpolarizability (β) values were calculated as 73.3003\AA^3 and $5.46547 \times 10^{-29} \text{ cm}^5 \text{ e.s.u.}^{-1}$, respectively, indicating the structure's high polarizability feature. Natural bond orbital analysis elucidated the nature of intramolecular hydrogen bonding and delocalization between electron-donor and acceptor-type orbitals. Finally, Mulliken charge analysis supported electrophilic and nucleophilic binding regions within the structure.

Keywords: "Schiff base, physical and chemical properties, quantum mechanical calculations."

1. Giriş

Moleküler modelleme, kuantum mekaniksel hesaplamalardan faydalanarak bir yapının fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesini sağlayan yöntemler bütünüdür. Bu yöntem, yapıların uygun alanlarda kullanımını mümkün kılar ve disiplinlerarası bir yaklaşım gerektirir. Fizik, kimya, malzeme bilimi ve biyoloji gibi pek çok alanda sıklıkla tercih edilmektedir. Moleküler modelleme yöntemleri, gelişmiş bilgisayar programları aracılığıyla gerçekleştirildiğinden, teknolojik ilerlemelere yakından bağlıdır. Bu durum, zaman ve maliyet açısından oldukça verimli bir yaklaşım sunmakla birlikte, teknolojideki ilerlemeler sayesinde daha hassas ve güvenilir hesaplamalar yapılmasına olanak tanır.

Kuantum mekaniksel yöntemler, Schrödinger denkleminin çözümüne dayanmaktadır ve diğer moleküler mekanik hesaplama yöntemlerine kıyasla daha hassas sonuçlar üretir. Schrödinger denkleminin çözümüne en yakın sonuçları elde etmemizi sağlayan yöntemlerden biri Yoğunluk Fonksiyonel Teorisi'dir (YFT). YFT, enerjiden türetilen birçok moleküler özelliğin belirlenmesinde oldukça işlevseldir [1]. Ayrıca, YFT'nin birden fazla dalga fonksiyoneli ile çalışabilme kapasitesi, onu diğer yöntemlere kıyasla daha esnek ve kullanışlı kılar. Bir yapının kuantum mekaniksel hesaplamaları ile fiziksel ve kimyasal özellikler belirlenirken, maddenin kimyasal yapısının net olarak aydınlatılması büyük önem taşır. Maddenin kristal yapı tayini, çeşitli yöntemlerle gerçekleştirilebilir ve bu yöntemlerden biri kristalografidir. Kristalografi, kimyasal bir maddenin yapısal özelliklerini atomik ölçekte incelemeyi mümkün kılar [2]. Schiff bazları, keşiflerinden bu yana bilimsel çalışmalarda yaygın olarak kullanılan önemli bileşiklerdir. Hugo Schiff tarafından keşfedilen bu kimyasal yapılar, antikanserojen, antimikrobiyal, antitümör ve antifungal gibi geniş biyolojik etkilere sahip olup, literatürde sıkça çalışılan moleküllerdir. Schiff bazlarının karakteristik imin (-C=N-) yapısı, bu bileşiklere yüksek biyolojik aktivite kazandırmaktadır. Ayrıca, Schiff bazlarına uygun metal veya ametal atomlarının

¹ Corresponding Author
E-mail Address: ccersanli@sinop.edu.tr

bağlanmasıyla küçük yapıli ligandlar oluşturulabilir. Azo bileşikleri, tekstil ve elyafların boyanması, farklı malzemelerin renklendirilmesi ve elektro-optik cihazlar ve mürekkep püskürtmeli yazıcılar gibi yüksek teknoloji alanlarındaki çok yönlü uygulamaları nedeniyle en yaygın kullanılan boya sınıfıdır [3]. Ayrıca, gıda ve ilaç endüstrisinde kullanımı onaylanmış olmasına rağmen sentetik gıda azo boyaları sağlık açısından risk oluşturabilir. Son zamanlarda gıda azo boyalarının erkeklerde reproduktif fonksiyonlar açısından etkilerini inceleyen deneysel çalışmaların sayısında artış gözlenmiştir [4]. Bunlara ilaveten çoğu Schiff bazının antibakteriyel, antikanser, anti-inflamatuvar ve antitoksik özellikleri vardır [5]. Bu özelliklerinden dolayı yapısında azo bulunan daha önceden teorik hesaplamaları yapılmamış (Z)-4-(2,6-diklorofenildiazenil)-6-[[1,3-dihidroksi-2-(hidroksimetil)propan-2-ilamino]metilen]-2-metoksisikloheksa-2,4-dienon [6] molekülünün yapısı kuantum kimyasal yöntemlerle hesaplanarak aydınlatılmaya çalışılmıştır.

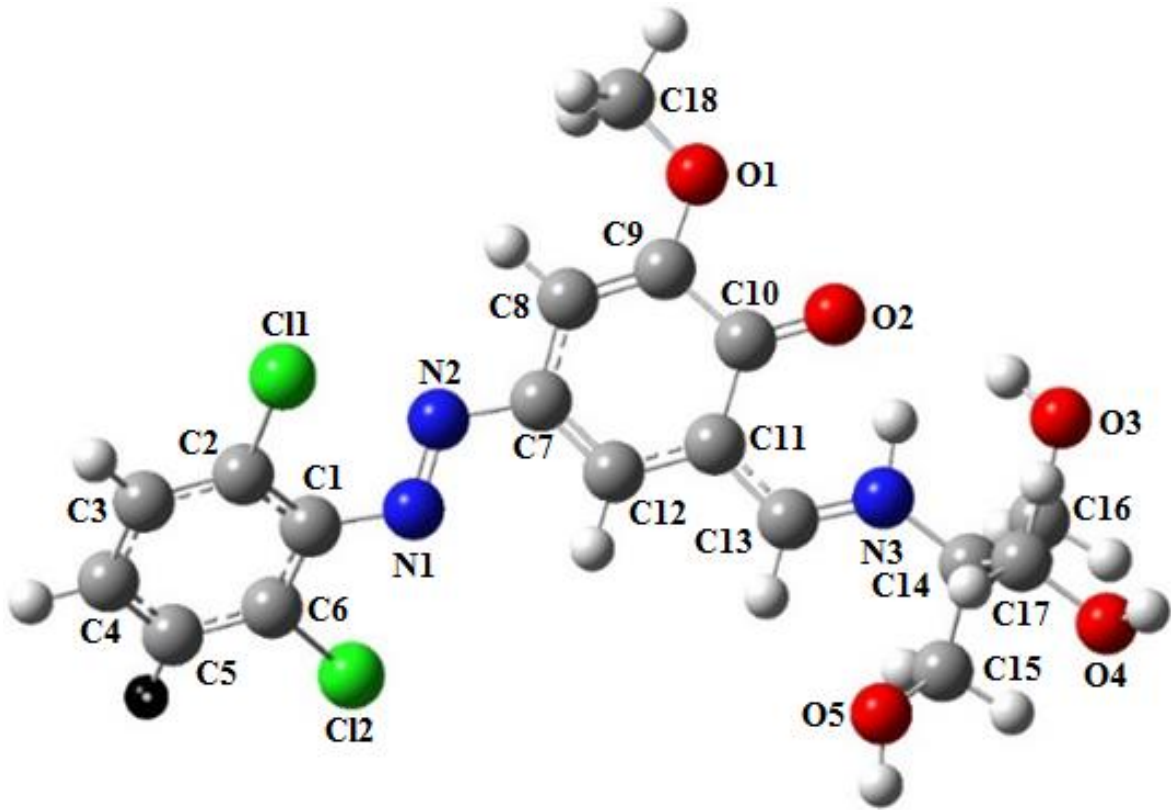
2. Materyal ve Metot

Bu teorik çalışma kapsamında, (Z)-4-(2,6-diklorofenildiazenil)-6-[[1,3-dihidroksi-2-(hidroksimetil)propan-2-ilamino]metilen]-2-metoksisikloheksa-2,4-dienon [6] molekülünün fiziksel yapısı, sınır moleküler orbitalleri, moleküler elektrostatik potansiyel (MEP) özellikleri, doğrusal olmayan optik (NLO) özellikleri, doğal bağ orbitalleri (NBO) ve Mulliken yükleri incelenmiştir. Bunun yanı sıra, yapının moleküler yerleştirme simülasyonu da gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, molekülün fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesinde Gaussian 03W [7] yazılımı kullanılmış ve B3LYP/6-311G(d,p) baz setinde hesaplamalar yapılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışmalar

3.1. Hesaplamalı Moleküler Geometri

Bileşiğin geometri optimizasyonu sonucunda elde edilen yapı Şekil 1'de sunulmuştur. Bu bileşik, iki aromatik halka içermekte olup aromatik halkalar arasındaki açı 58.93° olarak hesaplanmıştır. Schiff bazlarının genel olarak iki temel tautomerik formu bulunmaktadır: enol-imin tautomerik form ve keto-amin tautomerik form. Yapının geometrik analizi, bileşiğin keto-amin tautomerik formda olduğunu göstermektedir. Bu bulgu, yapının bağ uzunlukları ve içerdiği çift bağ karakterinin incelenmesiyle de doğrulanmıştır.



Şekil 1. Bileşiğe ait optimizasyon sonucu elde edilen geometri.

Tablo 1'de, bileşiğe ait bağ uzunlukları detaylı olarak verilmiştir. Tablo 1 incelendiğinde, N1=N2 bağı uzunluğunun deneysel olarak 1.243 (3) Å, hesaplamalar sonucunda ise 1.258 Å olduğu gözlemlenmiştir. Bağın nispeten kısa olması, çift bağ karakterini doğrulamaktadır. Keto-amin tautomerik formlarında karakteristik olarak bulunan N=N bağı, Şekil 1'de açıkça görülebilmektedir ve literatürdeki benzer yapılarla uyum göstermektedir {sırasıyla 1.341 (2) Å ve 1.283 (2) Å, Koşar, 2008 [2]; 1.343 (2) Å ve 1.383 (2) Å, Ersanlı vd., 2017 [8]; 1.315 (2) Å, Öztürk vd., 2023 [9]}.

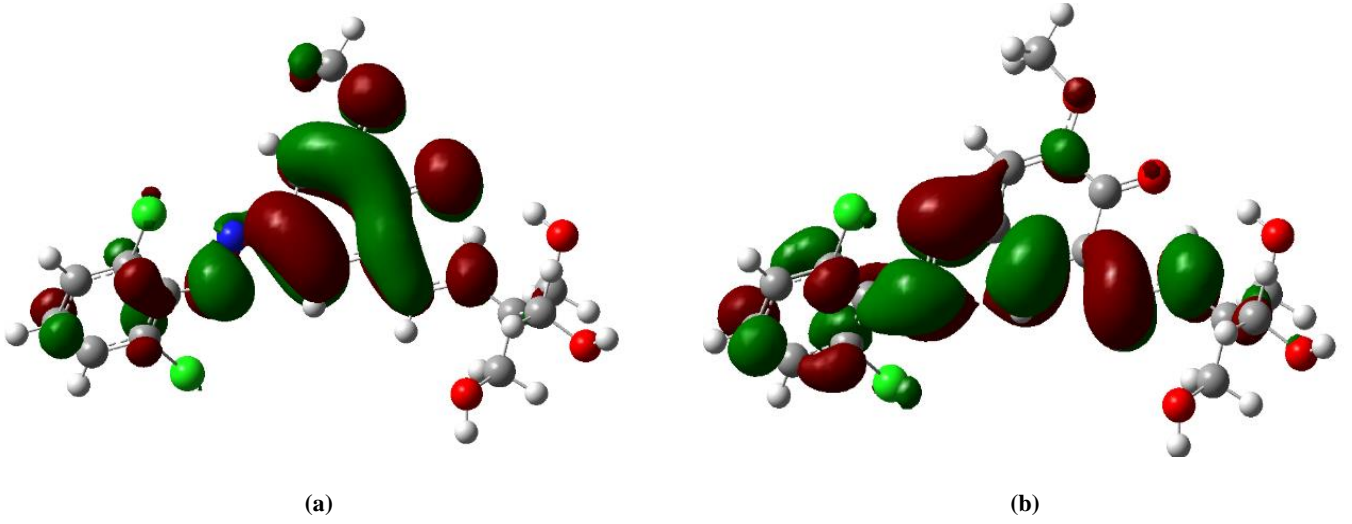
Tablo 1. Deneysel ve hesaplanmış seçilmiş bağ uzunlukları (Å), bağ ve torsiyon açıları (°).

BAĞ UZUNLUĞU, BAĞ VE TORSİYON AÇILARI	DENEYSEL [6]	HESAPLANMIŞ
C1-N1	1.443 (3)	1.410
C2-C11	1.727 (3)	1.756
C6-C12	1.732 (3)	1.756
C7-C12	1.372 (3)	1.377
C7-N2	1.417 (3)	1.402
C7-C8	1.409 (3)	1.431
C8-C9	1.364 (3)	1.367
C9-O1	1.357 (3)	1.356
C15-O6	1.416	1.427
C14-N3	1.465	1.464
N3-H23	0.793	1.039
C17-O4	1.424	1.416
C16-O5	1.410	1.425
C18-O1	1.416	1.418
C9-C10	1.434 (3)	1.461
C10-O2	1.279 (3)	1.256
C10-C11	1.434 (3)	1.463
C11-C12	1.406 (3)	1.411
C11-C13	1.425 (3)	1.411
C13-N3	1.284 (3)	1.316
C14-N3	1.464 (3)	1.465
C18-O1	1.417 (3)	1.418
N1-N2	1.243 (3)	1.258
C6-C1-N1	120.0 (2)	117.69
C2-C1-N1	122.2 (2)	125.48
C8-C7-N2	113.35 (19)	115.01
O1-C9-C8	126.3 (2)	125.79
O2-C10-C11	123.37 (19)	122.73
N3-C13-C11	122.2 (2)	121.84
C15-C14-C17	107.13 (18)	108.85
C13-N3-C14	129.6 (2)	130.1
C10-C11-C13-N3	0.3 (3)	4.16
C1-N1-N2-C7	179.2 (2)	177.86

Aromatiklik kavramı, 1985 yılında Hoffman tarafından tanımlanmıştır. Bu kavrama göre, aromatik yapılar rezonansla π bağları, yani delokalize elektronlara sahip düzlemsel halkalar şeklinde tanımlanır. Aromatiklik, bir molekülün özelliklerinin anlaşılmasında kritik bir faktördür. Aromatik halkalar içeren yapılar, tek bağ karakteri gösteren yapılara kıyasla daha yüksek stabilite sergiler. Aromatikliğin osilasyon ölçümü (HOMA), moleküllerdeki bağ uzunluklarını değerlendirmek için önemli bir parametredir. Bileşikte bulunan iki aromatik halka için HOMA değerleri hesaplanmış olup, C1-C6 halkasının değeri 0.967, C7-C12 halkasının değeri ise 0.823 olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar, her iki halkanın da aromatik yapıda olduğunu göstermektedir. Literatürde benzer HOMA değerlerine sahip Schiff bazları da incelenmiştir (C8-C13 0.942, Kırcı vd., 2021 [10]; C1-C6 0.949, Başak, 2023 [1]).

3.2. Sınır Moleküler Orbitaleri HOMO ve LUMO

Sınır moleküler orbitaleri, bir yapının kimyasal kararlılığı, optik ve elektronik özellikleri gibi önemli karakteristiklerinin yanı sıra, yapıdaki elektrofilik ve nükleofilik bölgelerin belirlenmesinde sıkça kullanılan analiz yöntemlerinden biridir. Bu orbitalerin analizi büyük önem taşımaktadır, çünkü bir molekülün bazı özellikleri yalnızca sınır moleküler orbitaleri üzerinden anlaşılabilir. Dolayısıyla, bir yapının kapsamlı analizinde bu orbitalerin belirleyici bir etkisi vardır. En yüksek enerji seviyesinde işgal edilen orbital (HOMO) ve en düşük enerji seviyesinde işgal edilmemiş orbital (LUMO) sınır orbitaleri olarak kabul edilir. Yapı üzerinde elektrofilik ve nükleofilik saldırı bölgeleri mevcuttur ve bu bölgelerin yapının hangi kısımlarında lokalize olduğunu belirlemek için HOMO ve LUMO orbitaleri incelenebilir. Bileşiğe ait HOMO ve LUMO sınır moleküler orbitaleri, Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Sınır moleküler orbitalleri HOMO ve LUMO.

HOMO-LUMO sınır moleküler orbital diyagramında, kırmızı ve yeşil renkler kullanılarak bir sınıflandırma yapılmaktadır. Bu sınıflandırmada kırmızı bölgeler, yapıda en negatif yüke sahip alanları, mavi bölgeler ise en pozitif yüklü alanları temsil eder. Şekil 2 incelendiğinde, N atomunun bağlı olduğu bölgenin en negatif yük yoğunluğuna sahip olduğu görülmektedir. HOMO, elektrofilik saldırıların gerçekleştiği bölge olarak değerlendirildiğinde, N atomunun bulunduğu alanın elektrofilik saldırılara açık olduğu söylenebilir. LUMO yoğunluğu ise, nükleofilik saldırıların gerçekleşebileceği bölgeleri işaret eder. LUMO üzerinde nükleofilik saldırı bölgelerinin, benzen halkarındaki C atomları üzerinde lokalize olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, LUMO üzerindeki diğer bir elektrofilik saldırı bölgesi ise C13-N3 bağının bulunduğu alandır. HOMO ve LUMO sınır moleküler orbitalleri, bir yapının fizikokimyasal özelliklerinin belirlenmesinde önemli rol oynayan elektronik parametrelerin hesaplanmasına olanak sağlar. Bu parametreler Tablo 2’de sunulmuştur.

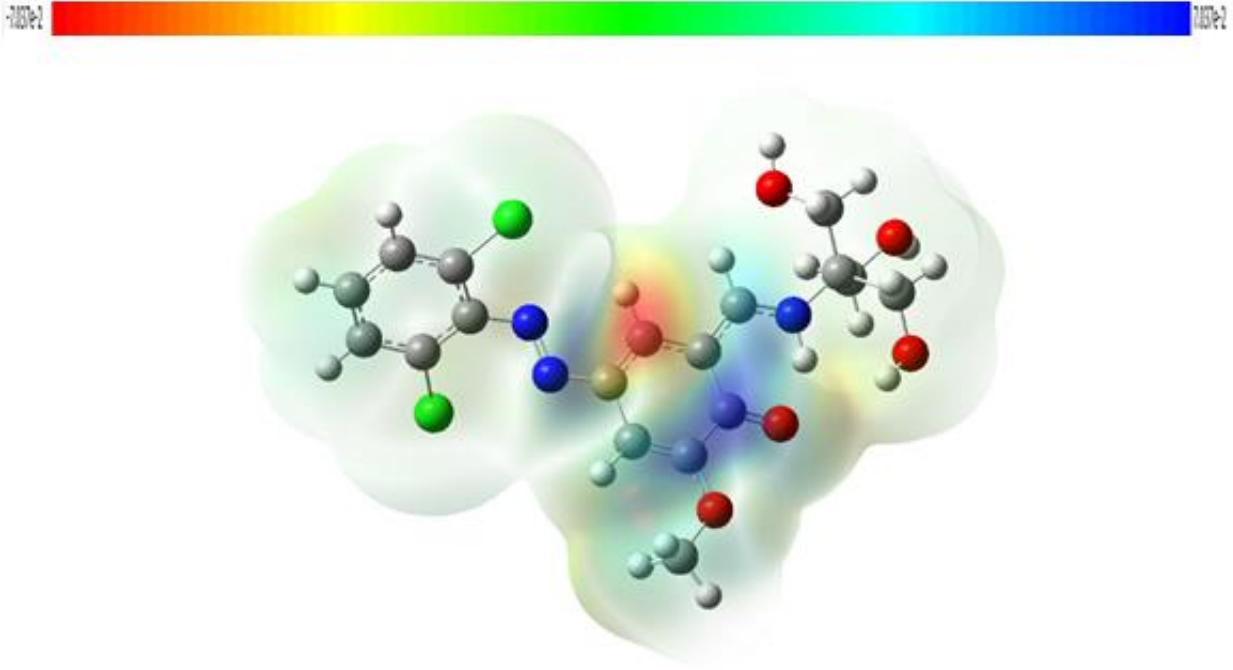
Tablo 2. Sınır moleküler orbitallerinden elde edilen elektronik parametreler.

HOMO (eV)	-5.2852
LUMO (eV)	-2.3219
ΔE (eV)	2.9633
Kimyasal sertlik, (eV)	1.4817
Kimyasal Yumuşaklık, (eV) ⁻¹	0.3375

Tablo 2’de yer alan önemli parametrelerden biri olan ΔE , sınır moleküler orbitaller (HOMO ve LUMO) arasındaki enerji farkını ifade eder. Bu parametre, bir molekülün kimyasal kararlılığı hakkında bilgi verir. Genellikle, ΔE değeri 1.5 eV’in üzerinde olan yapıların kimyasal olarak kararlı olduğu kabul edilir. Tablo 2’de bu değer 2.9633 eV olduğu görülmektedir. Dolayısıyla, bu verilere dayanarak bileşiğin kimyasal olarak kararlı bir yapı sergilediği söylenebilir.

3.3. Moleküler Elektrostatik Potansiyel (MEP) Haritası

MEP haritası, bir kimyasal yapının elektrofilik ve nükleofilik etkileşim bölgelerinin yanı sıra, hidrojen atomlarının bağlanma bölgelerinin belirlenmesinde sıkça kullanılan ve literatürde önemli bir yere sahip bir analiz yöntemidir [11]. Bu nedenle, MEP haritası, kimyasal yapının hedef bağlanma alanlarının belirlenmesinde kritik bir rol oynar. MEP haritalarında renklerle sınıflandırma yapılmaktadır. Harita üzerinde açıkça görülen kırmızı, yeşil ve mavi bölgeler, yapının itme-çekme kuvvetlerini ve elektrofilik-nükleofilik saldırı bölgelerini tanımlar. Şekil 3, bileşiğe ait MEP haritasını göstermektedir.



Şekil 3. Bileşiğe ait MEP haritası.

Şekil 3 incelendiğinde, kırmızı ve mavi renkli bölgelerin varlığı net bir şekilde görülebilmektedir. MEP haritasında, kırmızı renkler genellikle en negatif yük yoğunluğuna sahip bölgeleri temsil eder. Şekil 3'e bakıldığında, bu bölgenin C12 atomu üzerinde lokalize olduğu tespit edilebilir. Bileşik için bu kırmızı bölgenin, itme-çekme kuvvetlerinin yoğun olarak hissedildiği ve en negatif yükü barındıran bölge olduğu söylenebilir. Bu nedenle, bu bölge elektrofilik saldırılar için bir hedef olarak değerlendirilebilir. Mavi renkli bölgeler ise en pozitif yük yoğunluğuna sahip alanları temsil eder. Şekil 3'te, mavi renkli bölgelerin başlıca N atomları çevresinde ve benzen halkasındaki C9-C10 atomları üzerinde lokalize olduğu gözlemlenmektedir. Mavi bölgeler, yapıda elektrofilik saldırıların meydana gelme olasılığının düşük olduğu alanlardır ve bu bölgelerde itme-çekme kuvvetleri genellikle yoğun değildir.

3.4. Doğrusal Olmayan Optik Özellikler (NLO)

Organik bir molekülün optik özelliklerinin belirlenebilmesi için, molekülün kutuplanabilirliği hakkında bilgi sahibi olmak gereklidir. Kutuplanabilirlik, bir molekülün kararlılığı hakkında önemli bilgiler sağlar. Moleküllerde kutuplanabilirliğe en fazla katkıyı sağlayan faktör, valans elektronlarının varlığıdır [12]. Valans elektronları, konjugasyonu artırarak ve yapıya alıcı ve verici gruplar ekleyerek kutuplanma ve hiperkutuplanma üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bir molekülün doğrusal olmayan optik (NLO) özellikleri, genellikle birinci dereceden hiperkutuplanabilirliği ile belirlenir. Doğrusal olmayan optik özelliklere sahip yapılar, telekomünikasyon, optik anahtarlama ve optik veri depolama gibi birçok alanda etkin bir şekilde kullanılabilir [13]. Bu nedenle, doğrusal olmayan optik özelliklere sahip yapılar yüksek potansiyele sahiptir. Bileşiğe ait hesaplanan dipol moment, kutuplanabilirlik ve hiperkutuplanabilirlik değerleri Tablo 3'de sunulmuştur.

Tablo 3. Bileşiğe ait hesaplanan dipol moment (μ), kutuplanabilirlik (α) ve hiperkutuplanabilirlik (β) değerleri (a.u.)

μ_x	2.0495	β_{xxx}	3.5286×10^{-29}
μ_y	-3.013	β_{xyy}	-3.4471×10^{-30}
μ_z	0.588	β_{yyy}	-1.3298×10^{-30}
		β_{yyy}	1.4038×10^{-30}
α_{xx}	4.1026	β_{xxz}	2.2428×10^{-29}
α_{xy}	1.7775	β_{xyz}	-6.3813×10^{-31}
α_{yy}	2.0755	β_{yyz}	-2.7898×10^{-30}
α_{xz}	1.105	β_{zzz}	1.3986×10^{-29}
α_{yz}	-6.63	β_{yzz}	2.0180×10^{-30}
α_{zz}	3.4786	β_{zzz}	6.6031×10^{-30}

Bileşiğe ait toplam dipol moment, ortalama doğrusal kutuplanabilirlik anizotropisi ve hiperkutuplanabilirlik değerleri Tablo 4'de sunulmaktadır.

Tablo 4. Bileşiğe ait toplam dipol moment, ortalama doğrusal kutuplanabilirlik, kutuplanabilirlik anizotropisi ve hiperkutuplanabilirlik değerleri.

Toplam Dipol Moment (μ_{tot}), (D)	3.6907
Ortalama Doğrusal Kutuplanabilirlik (α), (\AA^3)	32.189
Kutuplanabilirlik Anizotropisi ($\Delta\alpha$), (\AA^3)	73.3003
Hiperkutuplanabilirlik (β), ($\text{cm}^5 \text{ e.s.u.}^{-1}$)	5.46547×10^{-29}

Bir molekölün doğrusal olmayan optik (NLO) özellikleri değerlendirilirken, genellikle ürenin kutuplanabilirlik ve hiperkutuplanabilirlik değerleri referans olarak alınır. Ürenin referans alınmasının nedeni, ürenin yüksek kutuplanabilirlik ve hiperkutuplanabilirlik özelliklerine sahip olmasıdır. Literatürde, ürenin kutuplanabilirlik ve hiperkutuplanabilirlik değerleri sırasıyla 3.8312 \AA^3 ve $3.7289 \times 10^{-31} \text{ cm}^5 \text{ e.s.u.}^{-1}$ olarak rapor edilmiştir [14]. Bu referans değerlerle karşılaştırıldığında, bileşiğin kutuplanabilirlik değeri üreninkinden yaklaşık 8.5 kat daha yüksek, hiperkutuplanabilirlik değeri ise yaklaşık 15 kat daha fazladır. Bu sonuçlar, bileşiğin yüksek kutuplanma ve hiperkutuplanma özelliklerine sahip olduğunu gösterir. Ayrıca, bu oranlar bileşiğin yüksek sayıda valans elektronuna ve güçlü bir konjugasyon yeteneğine sahip olduğunu da işaret eder.

3.5. Doğal Bağ Orbitali (NBO) Analizi

Doğal bağ orbitalleri, maksimum elektron yoğunluğuna sahip bağ orbitallerini tanımlar. Löwdin'e göre, doğal bağ orbitalleri N-elektronlu dalga fonksiyonlarından tek elektronlu dalga fonksiyonlarını türetmektedir. Bu orbitaller, doğal yarı-lokale moleküler orbitaller ve doğal lokalize orbital setleri içinde yer alır. NBO (Doğal Bağ Orbitali) analizi, kuantum kimyasında önemli bir rol oynar çünkü kuantum dalga fonksiyonlarının ve modern hesaplama yöntemlerinin pratik bir değerlendirmesini sağlar. Ayrıca, NBO analizi, bir yapı içerisindeki hidrojen bağlarının anlaşılmasında ve elektron yoğunluğunun alıcı ve verici orbitaller arasındaki delokalizasyonunu açıklamada önemli bir yaklaşımdır [15]. Bileşiğe ait NBO analizi verileri Tablo 5'te sunulmuştur.

Tablo 5. Bileşiğe ait doğal bağ orbitali (NBO) analizi.

Verici (i)	Alıcı (j)	E(2) (kcal/mol)	E(j)-E(i) (a.u)	F(i,j) (a.u)
BD(2) C1-C6	BD* (2) C4-C5	20.48	0.30	0.070
BD(2) C1-C6	BD* (2) C2-C3	18.47	0.29	0.066
BD(2) C4-C5	BD* (2) C1-C6	20.61	0.27	0.068
BD(2) C4-C5	BD* (2) C2-C3	21.38	0.27	0.069
BD(2) C2-C3	BD* (2) C1-C6	20.26	0.29	0.070
BD(2) C2-C3	BD* (2) C4-C5	18.40	0.30	0.067
LP(2) O1	BD* (2) C11-C12	32.19	0.34	0.097
LP(2) O3	BD*(1) C3-H33	22.52	0.68	0.112
LP(2) O3	BD*(1) C1-C11	17.20	0.77	0.104

Tablo 5'de, Lewis tipi dolu orbitallerden non-Lewis alıcı tipi orbitallere elektron yoğunluğu transferi yapılmıştır. Fock matrisinin ikinci dereceden pertürbasyon analizi sonucunda elde edilen stabilizasyon enerjileri [E(2)] değerleri, 15 kcal/mol ve üzeri enerji değerleri ile sınırlı olarak tabloya dahil edilmiştir; diğer veriler tabloya eklenmemiştir. Bu analiz, moleküller arası etkileşim kuvvetleri hakkında yorum yapma imkanı sunar. Alıcı ve verici orbitaller arasındaki stabilizasyon enerjisi ne kadar yüksekse, etkileşim de o kadar güçlüdür. Ayrıca, yüksek stabilizasyon enerjisi, orbitallerin yüksek derecede delokale olduğunu gösterir. Tablo 5 incelendiğinde, en yüksek stabilizasyon enerjisine sahip etkileşimin $n(O1) \rightarrow \pi^* (C11-C12)$ etkileşimi olduğu görülmektedir. Bu bulgu, söz konusu etkileşimde yüksek derecede moleköl içi hiperkonjugasyon olduğunu gösterir.

3.6. Mulliken Yükleri

Mulliken yüklerinin belirlenmesi bir yapının kimyasal ve fiziksel özelliklerinin aydınlatılması için önemlidir. Mulliken yükleri, yapıda bulunan atomların pozitif veya negatif yüklerini belirlememizi dolayısıyla elektrofilik ve nükleofilik reaksiyonların belirlemek için kullanılır. Bileşiğe ait Mulliken yükleri Tablo 6'da sunulmuştur.

Tablo 6 incelendiğinde negatif yüklere klor ve oksijen atomlarının sahip olduğu açıkça gözlenmektedir. Bu atomların yanında C2, C6, C7, C9 ve C14 atomları da yine negatif yüke sahiptir. Dolayısıyla negatif yükler incelendiğinde bu atomların elektrofilik reaksiyon gösterdikleri açıktır.

Tablo 6. Bileşiğe ait Mulliken yükleri (e).

ATOM	YÜK	ATOM	YÜK
C1	0.296987	C14	-0.162400
C2	-0.229494	C15	0.248557
C3	0.155470	C16	0.279270
C4	0.020729	C17	0.329596
C5	0.162137	C18	0.234508
C6	-0.049018	C11	-0.044407
C7	-0.049018	C12	-0.052224
C8	0.155441	O1	-0.327203
C9	-0.254268	O2	-0.427318
C10	0.218987	O3	-0.156391
C11	0.118060	O4	-0.145886
C12	0.081446	O5	-0.145082
C13	0.336931		

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, günümüzde gıda azo boylarıyla ilgili çalışmalara olan ilginin artarak devam etmesi sebebiyle azo bileşiğinin fiziksel, kimyasal ve antikanserojenik özellikleri kuantum kimyasal hesaplamalar kullanılarak incelenmiştir. Schiff bazları, artan literatür ilgisi ve sahip oldukları fiziksel, kimyasal, biyolojik, optik gibi çeşitli özellikler nedeniyle araştırmacılar tarafından ilgiyle incelenen yapıların başında gelmektedir. Ayrıca, Schiff bazları çeşitli disiplinlerde araştırılan kimyasal yapılar arasında önemli bir yer edinmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda, moleküler elektrostatik potansiyel haritası, kırmızı ve sarı bölgeler elektrostatik potansiyel enerjinin en negatif değer aldığı ve molekülün tamamı üzerinden çekirdeğe göre elektron yoğunluğunun fazla olduğu bölgeleri temsil etmektedir. Mavi bölgeler ise elektrostatik potansiyel enerjinin en pozitif değer aldığı ve kısmi pozitif yüklerin bulunduğu bölgeleri temsil etmektedir. Aynı zamanda kırmızı ve mavi bölgeler sırasıyla, kimyasal reaksiyona yatkın olan ve reaksiyona girme açısından kararsız bölgeleri ifade etmektedir. Çalışılan bileşiğin sınır moleküler orbitaller (HOMO ve LUMO) arasındaki enerji farkı (ΔE) 2.9633 eV olarak hesaplanmış olup bileşiğin kimyasal olarak kararlı bir yapı sergilediği, bileşiğin yüksek fiziksel ve kimyasal aktiviteye sahip olduğu gözlemlenmiştir. Bileşiğin kutuplanabilirlik değeri üreninkinden yaklaşık 8.5 kat ve hiperkutuplanabilirlik değeri ise yaklaşık 15 kat daha fazla olduğu hesaplanmıştır. Bu sonuçlar, bileşiğin yüksek kutuplanma ve hiperkutuplanma özelliklerine sahip olduğunu göstermiştir. Ayrıca, bu oranlar bileşiğin yüksek sayıda valans elektronuna ve güçlü bir konjugasyon yeteneğine sahip olduğunu da işaret etmiştir. Bu çalışma sonuçlarının, gelecekteki araştırmalarda araştırmacılara yeni materyal tasarımı ve sentezleme süreçlerinde rehberlik edeceği öngörülmektedir.

NOT: Bu çalışma, 17-19 Mayıs 2024 tarihleri arasında düzenlenen 5. Ulusal Kristalografi Toplantısında poster olarak sunulmuş ve toplantı kitapçığında özet bildiri olarak yayınlanmıştır (<https://ukd.org.tr/tucr2024/home-2/>).

Kaynaklar

- [1] S. Başak, "Antitümör ve antikanserojen erkili bazı schiff bazı moleküllerinin moleküler yerleştirme yöntemi ile incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Sinop Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2023.
- [2] B. Koşar, "4-Metoksi ve 3-hidroksi salisilaldehit türevi bazı schiff bazlarının yapısal özelliklerinin deneysel x-ışını kırınımı ve kuramsal yöntemlerle incelenmesi", Doktora Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2008.
- [3] A. T. Peters, and H. S. Freeman, "Colour Chemistry: The Design and Synthesis of Organic Dyes and Pigments (Ettore Majorana International Science Series)", *Colour Chemistry*, pp. 193-223, 1991.
- [4] B. K. Çelikateş, M. Baysal, "Gıda Azo Boyalarının Erkek Reprodüktif Toksikitesi Yönünden Değerlendirilmesi", *Ankara Eczacılık Fakültesi Dergisi*, vol. 48(3), 1236-1247, <https://dx.doi.org/10.33483/jfpau.1481724>, 2024.
- [5] D. R. Williams, "Metals, Ligands, and Cancer", *Chemical Reviews*, vol. 72 (3), 203-213, 1972.

- [6] A. Özek, Ç. Albayrak, M. Odabaşoğlu, and O. Büyükgüngör, "(Z)-4-(2,6-Dichlorophenyldiazenyl)-6-[[1,3-dihydroxy-2-(hydroxy-methyl)propan-2-ylamino]methylene]-2-methoxycyclohexa-2,4-dienone and the 3-methoxyphenyldiazenyl and 4-methoxyphenyldiazenyl analogues", *Acta Crystallogr. C*, vol. 62, pp. o173-o177, 2006.
- [7] Gaussian 03, Wallingford CT. [Online]. Available: <https://gaussian.com/>, 2004.
- [8] C. C. Ersanlı, G. Kaya Kantar, and S. Şaşmaz, S. "Crystallographic, spectroscopic (FTIR and NMR) and quantum computational calculation studies on bis(2-methoxy-4-((E)-prop-1-enyl)phenyl)oxalate", *Journal of Molecular Structure*, vol. 1143, pp. 318-327, <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2017.04.032>, 2017.
- [9] Öztürk, S., Aycan, T., Demircioğlu, Z., Ersanlı, C. C. (2023). Quantum Mechanical Calculations, Hirshfeld Surface Analysis, Molecular Docking, ADME and Toxicology Studies of the Ethyl 4-chloro-2-[(4-nitrophenyl)hydrazono]-3-oxobutrate Compound. *International Scientific and Vocational Studies Journal*, 7(2), 109-121. <https://doi.org/10.47897/bilmes.1385170>.
- [10] B. K. Kırca, Ç. Albayrak Kaştaş, and C. C. Ersanlı, "Molecular and electronic structures of two new Schiff base compounds E-2-bromo-6-(2-bromo-4-methylphenylimino)methyl-4-chlorophenol and E-2-bromo-6-(4-bromo-3-methylphenylimino)methyl-4-chlorophenol", *Journal of Molecular Structure*, vol. 1241, 130643, <https://dx.doi.org/10.1016/j.molstruc.2021.130643>, 2021.
- [11] H. D. Raihana, K. Karthick, S. Kamalesu, A. Babu, and K. Swarnalatha, "A new tetradentate Schiff base of N, N'-bis(3, 5-diiodosalicylidene)-1,2-phenylenediamine: Spectral aspects, Hirshfeld surfaces, DFT computations and molecular docking", *Journal of Molecular Structure*, vol. 2146, 133217, <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2022.133217>, 2021.
- [12] C. Bosshard, K. Suttur, O. Pretre, M. Flörsheimer, P. Kaatz, and P. Günter, "Second-Order Nonlinear Optical Organic Materials: Recent Developments", Springer Berlin Heidelberg, 72, 72 p. https://doi.org/10.1007/978-3-540-49713-4_3, 2000.
- [13] D. Sajan, J. Hubert, V. S. Jayakumar, and J. Zaleski, "Structural and electronic contributions to hyperpolarizability in methyl p-hydroxy benzoate", *Journal of Molecular Structure*, vol. 785 no. (1-3), pp. 45-53, 2005.
- [14] Y. X. Sun, Q. L. Hao, W. X. Wei, Z. X. Yu, L. D. Lu, X. Wang, and Y. S. Wang, "Experimental and density functional studies on 4-(3, 4-dihydroxybenzylideneamino) antipyrine, and 4-(2, 3, 4-trihydroxybenzylideneamino) antipyrine", *Journal of Molecular Structure: THEOCHEM*, vol. 904, no. (1-3), pp. 74-82, 2009.
- [15] M. Snehalatha, C. Ravikumar, I. H. Joe, N. Sekar, and V. S. Jayakumar, Spectroscopic analysis and DFT calculations of a food additive Carmoisine, *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, vol. 72, no. 3, pp. 654-662, 2009.

Investigating Transient Responses of IEEE 6 Bus Power System to Various Fault Types using PowerWorld Simulator

Sami Melih Öztürk ^a, Ahmet Çifci ^{b,1}

^a Graduate School of Natural and Applied Sciences, Burdur Mehmet Akif Ersoy University, Burdur, Türkiye
ORCID ID: 0009-0009-9054-7483

^b Department of Electrical and Electronics Engineering, Burdur Mehmet Akif Ersoy University, Burdur, Türkiye
ORCID ID: 0000-0001-7679-9945

Abstract

Transient analysis of power systems is essential for understanding dynamic responses and stability under fault conditions. This paper focuses on the transient analysis of the IEEE 6 bus power system using the PowerWorld Simulator, with the primary objective of investigating the system's behavior under various fault conditions, including three-phase balanced faults, line-to-ground faults, line-to-line faults, and double line-to-ground faults. The IEEE 6 bus system, a standardized benchmark for testing power system algorithms, provides a simplified yet effective model for examining transient phenomena. Utilizing the PowerWorld Simulator, this study models and simulates fault conditions to assess their impacts on key parameters such as bus voltages, generator rotor angles, and generator voltages. By conducting a series of simulations, we aim to provide a detailed characterization of the transient response of the IEEE 6 bus system under each fault scenario. The results of our analysis reveal distinct patterns of system behavior for each type of fault. Three-phase balanced faults, being the most severe, significantly disrupt system stability, causing considerable deviations in voltage and phase angles. Line-to-ground faults, although less severe, still pose substantial challenges, especially in terms of voltage stability at the faulted bus. Line-to-line faults primarily affect the phase voltages, leading to asymmetrical disturbances that propagate through the network. Double line-to-ground faults, which combine characteristics of line-to-line and line-to-ground faults, exhibit complex transient dynamics that test system resilience and control mechanisms. Our findings underscore the necessity for robust protective measures and control strategies to mitigate the adverse effects of these faults. The study highlights the importance of fault location, fault type, and system configuration in determining the overall stability and reliability of the power system.

Keywords: “Fault analysis, IEEE 6 bus system, PowerWorld simulator, transient stability.”

1. Introduction

In electrical power systems, faults can disrupt normal operation, cause equipment damage, and pose safety hazards. The four main types of faults are line-to-ground, line-to-line, double line-to-ground, and three-phase balanced faults. Line-to-ground faults occur when one phase conductor contacts the ground or a grounded object, creating an imbalance in the system [1]. This is the most common fault type, characterized by high fault currents flowing from the line to the ground, potentially causing equipment damage and power outages. Causes include insulation failure, physical damage, or environmental factors. Line-to-line faults occur when two phase conductors come into contact, leading to an unbalanced condition with high fault currents between the phases [2]. This can result from insulation failure, swaying conductors in high winds, or mechanical damage, posing risks of extensive equipment damage and arc flash incidents. Double line-to-ground faults involve two phase conductors contacting the ground simultaneously, causing severe imbalance and high fault currents [3]. These faults, often due to insulation failure or severe environmental conditions, can lead to extensive system damage and pose greater safety hazards. Three-phase balanced faults, also known as symmetrical faults, involve all three phases short-circuiting together, resulting in extremely high fault currents [4]. Although less common, these faults are the most severe, potentially causing maximum equipment damage and widespread power outages due to their catastrophic nature, including major equipment explosions or extreme mechanical damage. Understanding these fault types and implementing effective detection and protection mechanisms is crucial for maintaining power system stability and safety.

In recent years, the use of simulation tools in power system analysis has become increasingly prevalent [5]. The increasing prominence of simulation tools in power system analysis reflects the growing complexity and dynamic nature of modern power

¹ Corresponding Author
E-mail Address: acifci@mehmetakif.edu.tr

systems. Among these tools, the PowerWorld Simulator stands out as a powerful software package that offers a comprehensive platform for studying and analyzing various aspects of power systems [6-8]. Many researchers have explored the application of PowerWorld Simulator in various aspects of power system analysis, including load flow studies, contingency analysis, and dynamic simulations [9-11].

One of the key areas where PowerWorld Simulator has been extensively utilized is in the analysis of transient stability in power systems. Transient stability is a critical concern in power system operation, as it determines the system's ability to withstand sudden disturbances, such as faults or load changes, and maintain synchronism [12]. By simulating the system's response to various transient events, researchers and practitioners can gain valuable insights into system behavior and devise effective strategies for system protection and control. Several studies have investigated the use of PowerWorld Simulator in transient stability analysis, focusing on different power system configurations and scenarios. Kaur and Kumar [13] concentrated on enhancing transient stability in the IEEE 9 bus system through the PowerWorld Simulator, emphasizing the importance of bolstering transient stability in power systems. Similarly, Mahasathyavathi et al. [14] explored load frequency control for a multi-area power system using the PowerWorld Simulator, stressing the significance of minimizing transient response and assessing generator contributions under different disturbances. These studies underscore the pivotal role of PowerWorld Simulator in scrutinizing and enhancing power system performance under transient conditions. Furthermore, Kim and Overbye [15] introduced an optimal subinterval selection approach for power system transient stability simulation, showcasing the versatility of PowerWorld Simulator in managing intricate analyses related to transient stability. Additionally, Demetriou et al. [16] executed dynamic tests on IEEE test systems for transient analysis, further demonstrating the applicability of simulation tools like PowerWorld in evaluating power system conditions post-contingency events. Summaries of other studies on transient stability analysis using PowerWorld Simulator are provided in Table 1.

Table 1. List of studies on transient stability analysis using PowerWorld Simulator.

Author(s)	Publication Year	Summary
Anuar et al. [17]	2020	This paper explores transient stability analysis of the IEEE 14 bus system using PowerWorld Simulator, with detailed observations and outcomes.
Anwar et al. [18]	2020	The paper focuses on evaluating the transient stability of the IEEE 9 bus system when subjected to various simultaneous disturbances.
Patel [19]	2020	The paper presents a method for enhancing the transient stability of a three-machine nine-bus power system by tuning power system stabilizers using a frequency response approach.
Tina et al. [20]	2021	The paper evaluates various methods for enhancing transient stability in power systems, focusing on their technical effectiveness and economic feasibility.
Rajesh Varma et al. [21]	2021	This paper investigates the transient stability of the IEEE 9 bus power system, focusing on the system's response to various disturbances using the PowerWorld Simulator.
Tina et al. [22]	2022	This paper examines various technical strategies aimed at enhancing the transient stability of power systems that integrate wind power generation.
Salim et al. [23]	2023	This paper examines the transient stability of a power system under different contingency scenarios, using PowerWorld Simulator to analyze the impact of faults and load changes on system stability and synchronism.

The IEEE 6 bus system, a widely accepted benchmark for power system studies, was chosen for its simplicity and representativeness of key features found in larger systems. This small-scale, radial power system allows for efficient analysis of transient phenomena without excessive complexity. By leveraging the capabilities of PowerWorld Simulator, this study aims to contribute to the field by specifically focusing on transient behavior within the IEEE 6 bus power system. While previous research has explored transient stability in larger systems, the IEEE 6 bus system presents a unique challenge due to its smaller scale and potentially different transient response characteristics. Most studies concentrate on larger, more complex networks. This research will address this gap by conducting a comprehensive transient analysis of the IEEE 6 bus system using PowerWorld. By simulating various transient events, such as fault occurrences, the study will provide valuable insights into the system's dynamic behavior and assess its performance under different operating conditions. The insights gained from these simulations can be applied to larger systems, contributing to a deeper understanding of power system dynamics and stability. The main contribution of this study can be summarized in the following points:

- Transient analysis helps identify potential vulnerabilities, stability issues, and system responses to disturbances. These are essential for ensuring the reliability and resilience of power networks.
- The findings from this study can be used to develop and validate control strategies, protection schemes, and mitigation techniques that can be applied to larger-scale power systems with similar characteristics.
- This work can contribute to the broader understanding of power system dynamics and support the development of more robust and efficient power system designs and operation practices.

The rest of the paper is structured as follows. Section 2 describes the IEEE 6 bus system, a standard test system used in power system analysis, and the application of the Newton-Raphson method for power flow analysis. Section 3 presents the simulation

results for each fault type, analyzing the effects on bus voltages, generator rotor angles, and generator voltages. Finally, Section 4 synthesizes the principal findings of the study, elucidates their significance and possible applications, and offers recommendations for future research directions.

2. Power System Modeling

This study utilizes the IEEE 6 bus power system. The IEEE 6 bus power system is a standard test system used in power system analysis and evaluation. It is a simplified representation of a real power grid, consisting of six buses, three generators, three loads, and eleven transmission lines. This system is designed to provide a common platform for studying various power system phenomena and testing different power system applications. The single line diagram of IEEE 6 bus power system is shown in Fig. 1.

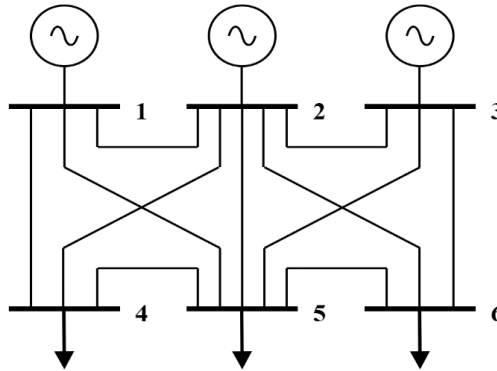


Fig. 1. IEEE 6 bus power system.

Bus 1 is a slack bus. This bus acts as the reference bus, providing a constant voltage magnitude (in per-unit, pu) and angle. It balances the active and reactive power in the system. Buses 2 and 3 are generator buses. These are also known as PV buses. They have a fixed voltage magnitude, but their voltage angle and real power output can vary. Buses 4, 5, and 6 are load buses. These are also known as PQ buses. They have specific power demands (active and reactive power) that need to be met by the generators. The bus data and line parameters for the IEEE 6 bus power system are provided in Table 2 and Table 3, respectively.

Table 2. Bus data of IEEE 6 bus system.

Bus No	Bus Type	Voltage (pu)	Generation		Load	
			P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
1	Slack	1.05	-	-	0	0
2	PV	1.05	50	-	0	0
3	PV	1.07	60	-	0	0
4	PQ	1	0	0	70	70
5	PQ	1	0	0	70	70
6	PQ	1	0	0	70	70

Table 3. Line parameters of IEEE 6 bus system.

Bus No From-To	Resistance (pu)	Reactance (pu)	Line Charging (pu)
1-2	0.1	0.2	0.04
1-4	0.05	0.2	0.04
1-5	0.08	0.3	0.06
2-3	0.05	0.25	0.06
2-4	0.05	0.1	0.02
2-5	0.1	0.3	0.04
2-6	0.07	0.2	0.05
3-5	0.12	0.26	0.05
3-6	0.02	0.1	0.02
4-5	0.2	0.4	0.08
5-6	0.1	0.3	0.06

The power flow analysis of the IEEE 6 bus power system modeled in PowerWorld Simulator was performed using the Newton-Raphson method. The Newton-Raphson method, a powerful iterative technique, finds widespread application in power flow analysis. This method leverages the Taylor series expansion to linearize the nonlinear power flow equations, thereby

transforming them into a system of linear equations that can be readily solved [7]. Starting with an initial guess for the voltage magnitudes and angles at each bus, the Newton-Raphson method iteratively refines these estimates by solving the linearized equations [24]. The process continues until the difference between successive iterations falls below a predetermined tolerance, signifying convergence to a solution. The robustness and rapid convergence of the method establish it as a fundamental tool in power system analysis, facilitating engineers in precisely predicting the steady-state operating conditions of electrical networks. The power flow analysis of the IEEE 6 bus power system modeled in the PowerWorld Simulator, conducted using the Newton-Raphson method, is shown in Fig. 2.

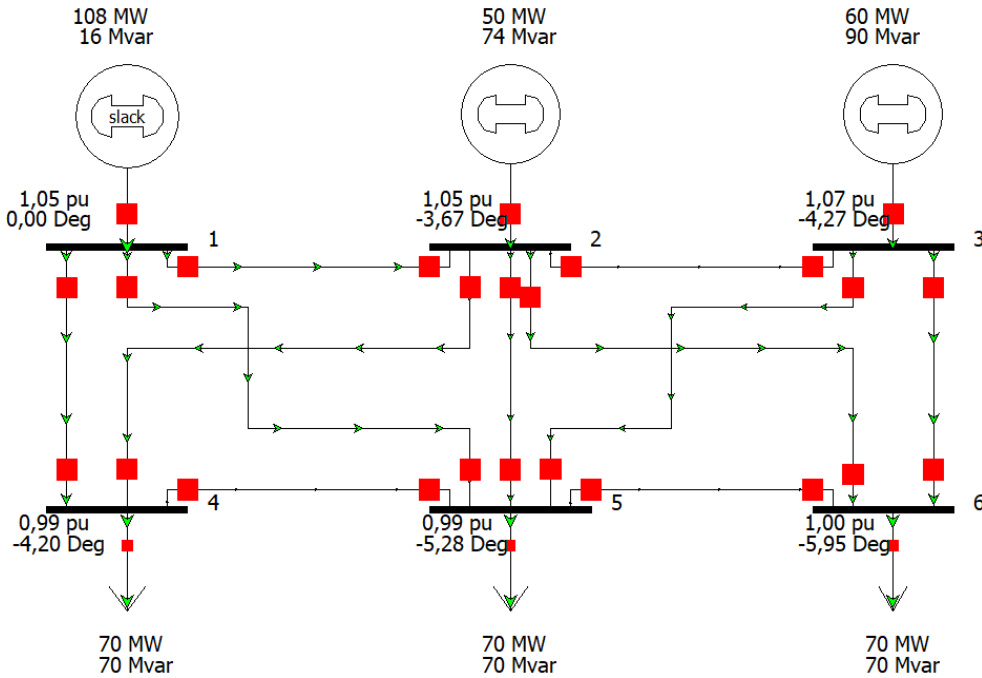


Fig. 2. Simulation results of power flow analysis using the Newton-Raphson method.

3. Results and Discussion

This study will conduct fault analysis on a per-bus basis for buses 1 through 6 of the IEEE 6 bus power system. The simulation results for various fault scenarios are detailed in Tables 4, 5, 6, and 7. These tables can be used to analyze how the system responds to different fault types and how these faults affect the voltage, current, and power values in the system. The voltage magnitudes are given in pu values. This represents normalized values with respect to the nominal value and facilitates comparison of systems with different voltage levels. The angle values are given in degrees and are important indicators for system stability. Large angle differences may indicate that the system is approaching instability. These analyses were performed using the PowerWorld simulator, allowing for quick and effective examination of fault conditions in complex power systems.

Table 4 shows the effects of single line-to-ground faults at each bus in the system. During a fault, the voltage of the faulted phase approaches zero, while the voltages of the other phases increase. For example, when a fault occurs at bus 1, the voltage of phase A becomes zero, while the voltages of phases B and C rise to 1.29516 pu and 1.11105 pu, respectively. Similarly, the angle of the faulted phase changes significantly compared to the other phases. This is a characteristic feature of single line-to-ground faults. Such faults can lead to overloading and potential damage to the equipment.

Table 5 illustrates the phase voltages and angles for each bus in the event of a line-to-line fault. At bus 1, the voltage for phase A is 1.05 pu, and for phases B and C, it is 0.525 pu. This substantial difference in voltages indicates a significant disturbance in voltage balance due to the fault. The phase angles are 0° , -180° , and -180° for phases A, B, and C, respectively, illustrating the phase shift caused by the fault. Such shifts can lead to harmonic distortions and power quality issues in the system.

Table 6 shows the double line-to-ground fault condition. At bus 1, phase A has a voltage of 1.2672 pu, while phases B and C are at 0 pu. The phase angles are 3.52° , -48.81° , and -41.63° for phases A, B, and C, respectively. This substantial discrepancy in voltages and angles highlights the severe imbalance caused by the fault, leading to major energy losses and potential equipment failures.

Table 4. Single line-to-ground (L-G).

Fault Bus	Bus Number	Phase Volt A	Phase Volt B	Phase Volt C	Phase Ang A	Phase Ang B	Phase Ang C
1	1	0	1.29516	1.11105	-1.79	-127.24	134.86
	2	0.28601	1.26616	1.03918	-19.35	-127.39	128.88
	3	0.40035	1.26636	1.04116	-15.34	-126.87	126.67
	4	0.16067	1.2299	1.00935	-25.34	-129.72	130.88
	5	0.20618	1.22515	0.99445	-26.21	-130.29	129.7
	6	0.31088	1.22675	0.9852	-23.26	-129.41	127.41
2	1	0.18558	1.27979	1.07302	7.35	-125.41	133.71
	2	0	1.32507	1.10952	178.52	-131	132.73
	3	0.21743	1.30941	1.0798	-9.84	-129.12	129.58
	4	0.03945	1.26957	1.04126	-31.58	-131.43	133.35
	5	0.08268	1.26309	1.02749	-24.21	-132.07	132.13
	6	0.11365	1.27723	1.03309	-26.18	-132.05	130.81
3	1	0.34773	1.24328	1.05341	4.69	-124.12	131.46
	2	0.25726	1.26976	1.06384	-3.35	-128.57	129.39
	3	0	1.33975	1.13972	-2.59	-131.94	131.65
	4	0.23247	1.21983	1.00773	-6.52	-129.57	130.29
	5	0.13664	1.24171	1.02608	-11.79	-131.89	130.92
	6	0.06701	1.27303	1.05757	-16.37	-133.13	130.73
4	1	0.30631	1.25316	1.08386	3.4	-125.67	132.39
	2	0.29491	1.27452	1.07377	-11.44	-129.07	129.76
	3	0.42596	1.27121	1.0672	-10.6	-128.15	127.33
	4	0	1.27025	1.09479	176.09	-133.86	133.58
	5	0.25236	1.22626	1.01895	-15.47	-131.46	130
	6	0.33145	1.23181	1.01342	-16.63	-130.81	128.06
5	1	0.35045	1.24854	1.0824	4.58	-125.55	132.12
	2	0.33235	1.26769	1.0753	-6.63	-129.08	129.41
	3	0.34731	1.28928	1.09243	-8.95	-129.5	128.63
	4	0.25496	1.22475	1.03252	-7.72	-130.78	130.79
	5	0	1.27801	1.09937	-2.27	-135.36	133.18
	6	0.25189	1.2502	1.04298	-14.52	-132.34	129.38
6	1	0.4123	1.23633	1.06649	4.42	-124.67	131.25
	2	0.32618	1.26363	1.07755	-2.52	-129.14	129.21
	3	0.25591	1.29871	1.11588	-1.84	-130.64	129.36
	4	0.29884	1.21177	1.02042	-4.72	-130.11	129.95
	5	0.21563	1.23031	1.03866	-5.79	-132.41	130.37
	6	0	1.29672	1.1086	1.42	-135.49	132.19

Table 5. Line-to-line (L-L).

Fault Bus	Bus Number	Phase Volt A	Phase Volt B	Phase Volt C	Phase Ang A	Phase Ang B	Phase Ang C
1	1	1.05	0.525	0.525	0	-180	-180
	2	1.05001	0.59849	0.54635	-3.67	-161.3	151.68
	3	1.07002	0.6415	0.60642	-4.27	-154.26	143.78
	4	0.98938	0.52586	0.506	-4.2	-168.02	158.98
	5	0.98545	0.54074	0.51273	-5.28	-165.14	153.44
	6	1.00443	0.58682	0.54487	-5.95	-159.6	145.5
2	1	1.05	0.50272	0.5822	0	-164.29	166.48
	2	1.05001	0.52501	0.52501	-3.67	176.33	176.33
	3	1.07002	0.55371	0.56913	-4.27	-166.38	158.33
	4	0.98938	0.48788	0.50706	-4.2	-178.02	169.86
	5	0.98545	0.48914	0.51357	-5.28	-174.37	164.34
	6	1.00443	0.51143	0.51527	-5.95	-173.95	162.14
3	1	1.05	0.53335	0.65105	0	-149.3	155.28
	2	1.05001	0.52907	0.59922	-3.67	-160.76	156.22
	3	1.07002	0.53501	0.53501	-4.27	175.73	175.73
	4	0.98938	0.49882	0.57399	-4.2	-159.7	154.69
	5	0.98545	0.48415	0.54001	-5.28	-168.56	159.78
	6	1.00443	0.48747	0.52818	-5.95	-177.07	165.86
4	1	1.05	0.53411	0.60268	0	-155.99	158.86
	2	1.05001	0.57787	0.55926	-3.67	-161.49	153.36
	3	1.07002	0.62974	0.62276	-4.27	-153.15	144.21
	4	0.98938	0.49469	0.49469	-4.2	175.8	175.8
	5	0.98545	0.5346	0.53628	-5.28	-162.2	151.72
	6	1.00443	0.57441	0.56075	-5.95	-158.54	145.92

Table 5 (continued). Line-to-line (L-L).

Fault Bus	Bus Number	Phase Volt A	Phase Volt B	Phase Volt C	Phase Ang A	Phase Ang B	Phase Ang C
5	1	1.05	0.53655	0.62641	0	-152.34	156.57
	2	1.05001	0.56753	0.59075	-3.67	-158.16	151.89
	3	1.07002	0.59253	0.59337	-4.27	-158.71	150.2
	4	0.98938	0.51579	0.55324	-4.2	-161.1	154.35
	5	0.98545	0.49273	0.49273	-5.28	174.72	174.72
	6	1.00443	0.53845	0.54102	-5.95	-164.41	152.62
6	1	1.05	0.55548	0.66438	0	-146.23	152.3
	2	1.05001	0.54809	0.6103	-3.67	-157.22	152.74
	3	1.07002	0.54267	0.58782	-4.27	-164.65	157.67
	4	0.98938	0.51699	0.58618	-4.2	-156.11	151.27
	5	0.98545	0.49562	0.55608	-5.28	-163.57	155.47
	6	1.00443	0.50222	0.50222	-5.95	174.05	174.05

Table 6. Double line-to-ground (L-L-G).

Fault Bus	Bus Number	Phase Volt A	Phase Volt B	Phase Volt C	Phase Ang A	Phase Ang B	Phase Ang C
1	1	1.2672	0	0	3.52	-48.81	-41.63
	2	1.20635	0.24159	0.30118	1.14	-137.22	107.67
	3	1.20174	0.34422	0.41693	0.53	-133.91	111.1
	4	1.17916	0.13	0.19565	0.59	-130.07	102.27
	5	1.16838	0.16774	0.2482	-0.18	-132.08	101.23
	6	1.15951	0.25629	0.34666	-0.54	-136.33	104.09
2	1	1.23348	0.15013	0.19225	4	-112.11	136.14
	2	1.28293	0	0	0.31	58.52	-61.48
	3	1.25283	0.18149	0.22515	0.19	-128.9	117.73
	4	1.21996	0.03743	0.06987	0.37	-91.42	100.29
	5	1.20911	0.07164	0.12187	-0.48	-107.46	103.87
	6	1.2183	0.08778	0.14423	-0.99	-125.5	103.16
3	1	1.19699	0.29274	0.36772	3.86	-112.55	131.79
	2	1.22105	0.2146	0.27611	0.45	-119.4	123.95
	3	1.30509	0	0	-0.64	-122.59	117.41
	4	1.16913	0.19903	0.27244	0.3	-114.53	119.38
	5	1.19419	0.12279	0.1807	-0.81	-108.45	113.16
	6	1.22825	0.06074	0.10037	-1.64	-99.42	110.58
4	1	1.21401	0.25135	0.29746	3.18	-120.57	132.79
	2	1.22207	0.24998	0.2869	0.2	-134.77	116.49
	3	1.21242	0.36539	0.42264	-0.27	-132.24	116.56
	4	1.23721	0	0	-1	56.09	-63.91
	5	1.17187	0.2134	0.27333	-1.05	-130.05	111.59
	6	1.16952	0.27854	0.34709	-1.44	-134.09	110.87
5	1	1.20841	0.28685	0.34221	3.08	-118.71	133.91
	2	1.21665	0.27749	0.32462	-0.03	-129.63	121.84
	3	1.23639	0.29461	0.33529	-0.6	-132.66	118.98
	4	1.1755	0.21365	0.26703	-0.42	-124.98	119.93
	5	1.24123	0	0	-2.08	-122.27	117.73
	6	1.1948	0.20968	0.26107	-1.89	-132.7	113.46
6	1	1.19333	0.34599	0.41522	3.24	-116.21	132.28
	2	1.21713	0.27302	0.32576	-0.16	-123.87	125.54
	3	1.25695	0.21325	0.24519	-0.99	-126.61	127
	4	1.16298	0.25478	0.31966	-0.37	-120.23	122.04
	5	1.18464	0.18739	0.23847	-1.55	-118.42	120.13
	6	1.25845	0	0	-2.59	-118.58	121.42

Table 7 presents the three-phase balanced fault condition, which is the most severe type of fault. For bus 1, the phase voltages for all three phases are 0 pu, with phase angles at 90°. At bus 2, all three phase voltages are 0.2651 pu, with phase angles of -10.78°, -130.78°, and 109.22° for phases A, B, and C, respectively. This data indicates symmetrical voltage values but significant differences in phase angles, suggesting a symmetrical disturbance in the system that nonetheless causes phase angle imbalances. Such faults can disrupt the overall stability of the system and necessitate additional balancing measures.

Table 7. Three-phase balanced.

Fault Bus	Bus Number	Phase Volt A	Phase Volt B	Phase Volt C	Phase Ang A	Phase Ang B	Phase Ang C
1	1	0	0	0	90	90	90
	2	0.2651	0.2651	0.2651	-10.78	-130.78	109.22
	3	0.37129	0.37129	0.37129	-7.92	-127.92	112.08
	4	0.16956	0.16956	0.16956	-8.24	-128.24	111.76
	5	0.21563	0.21563	0.21563	-9.88	-129.88	110.12
	6	0.30199	0.30199	0.30199	-11.13	-131.13	108.87
2	1	0.1642	0.1642	0.1642	16.78	-103.22	136.78
	2	0	0	0	178.52	58.52	-61.48
	3	0.19668	0.19668	0.19668	-1.55	-121.55	118.45
	4	0.06166	0.06166	0.06166	6.21	-113.79	126.21
	5	0.10786	0.10786	0.10786	2.37	-117.63	122.37
	6	0.12279	0.12279	0.12279	-4.89	-124.89	115.11
3	1	0.3236	0.3236	0.3236	13.7	-106.3	133.7
	2	0.24183	0.24183	0.24183	6.7	-113.3	126.7
	3	0	0	0	-2.59	-122.59	117.41
	4	0.24339	0.24339	0.24339	6.95	-113.05	126.95
	5	0.16423	0.16423	0.16423	6.5	-113.5	126.5
	6	0.09004	0.09004	0.09004	9.36	-110.64	129.36
4	1	0.25463	0.25463	0.25463	9.69	-110.31	129.69
	2	0.25224	0.25224	0.25224	-6.32	-126.32	113.68
	3	0.37588	0.37588	0.37588	-4.99	-124.99	115.01
	4	0	0	0	176.09	56.09	-63.91
	5	0.24198	0.24198	0.24198	-5.03	-125.03	114.97
	6	0.30544	0.30544	0.30544	-7.62	-127.62	112.38
5	1	0.29328	0.29328	0.29328	11.3	-108.7	131.3
	2	0.28263	0.28263	0.28263	-0.67	-120.67	119.33
	3	0.2952	0.2952	0.2952	-4.17	-124.17	115.83
	4	0.23477	0.23477	0.23477	1.51	-118.49	121.51
	5	0	0	0	-2.27	-122.27	117.73
	6	0.22831	0.22831	0.22831	-5.55	-125.55	114.45
6	1	0.36397	0.36397	0.36397	11.58	-108.42	131.58
	2	0.28473	0.28473	0.28473	4.33	-115.67	124.33
	3	0.21221	0.21221	0.21221	3.18	-116.82	123.18
	4	0.28454	0.28454	0.28454	4.81	-115.19	124.81
	5	0.21495	0.21495	0.21495	4.7	-115.3	124.7
	6	0	0	0	1.42	-118.58	121.42

Several critical observations can be derived from the analysis of these tables. Firstly, the bus where the fault occurs experiences the lowest voltage values. Secondly, the three-phase balanced fault generally causes the most severe voltage drops. Thirdly, as we move away from the fault location, voltage values tend to approach nominal values. Lastly, phase angles also show significant changes during fault conditions, which can affect power flows.

Figs. 3-14, which depict the system's response to faults at buses 4, 5, and 6. Fig. 3 illustrates the rotor angle dynamics of the generators when a fault occurs at bus 4. The rotor angle, which represents the angular position of the rotor in relation to a reference, is critical for assessing system stability. As can be seen from the graph, there is a sudden increase in the rotor angle during the fault, and the system undergoes an oscillation process to reach a stable state. This indicates that the system stability is disturbed, and it requires time to regain a stable operating condition after the fault.

Fig. 4 depicts the power flow changes in the system during the fault at bus 4. This graph is essential for understanding the immediate impact on power delivery and the system's ability to maintain stable power flows under fault conditions. During the fault, there are significant fluctuations in the active powers, but the system undergoes a period of oscillation to reach a stable condition. These power fluctuations indicate the disturbance in the system stability.

Fig. 5 presents the current levels in the system when bus 4 experiences a fault. During the fault, there are sudden increases in the currents, and the system experiences an oscillation process. These current variations suggest that the system stability is disturbed, and it requires time to regain a stable operating state. Analyzing these currents is crucial for the design and coordination of protective devices.

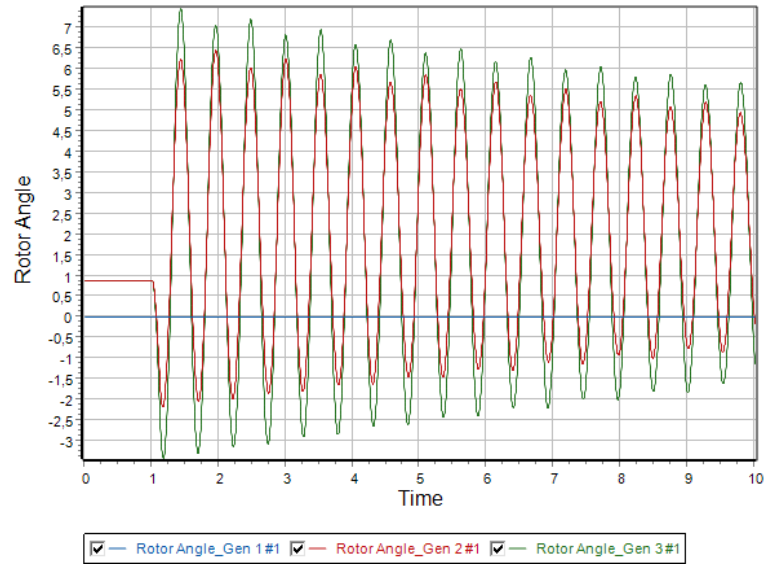


Fig. 3. Plot of rotor angle for fault at bus 4.

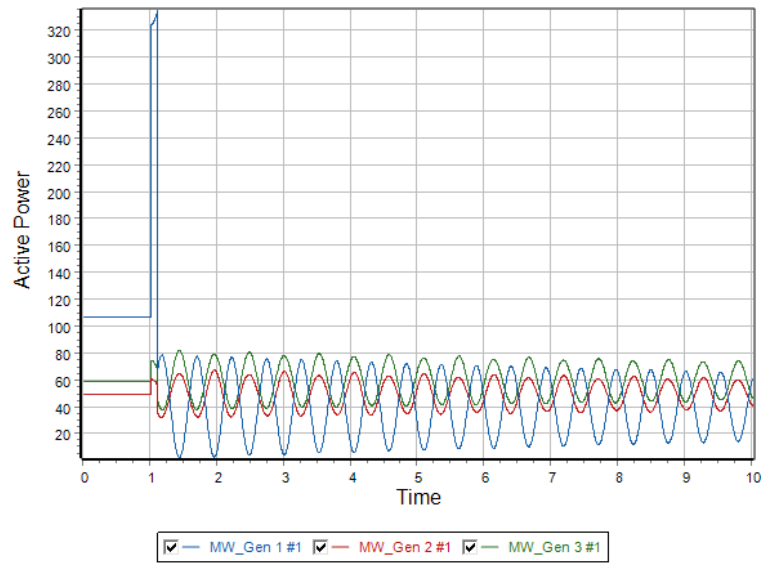


Fig. 4. Plot of active power for fault at bus 4.

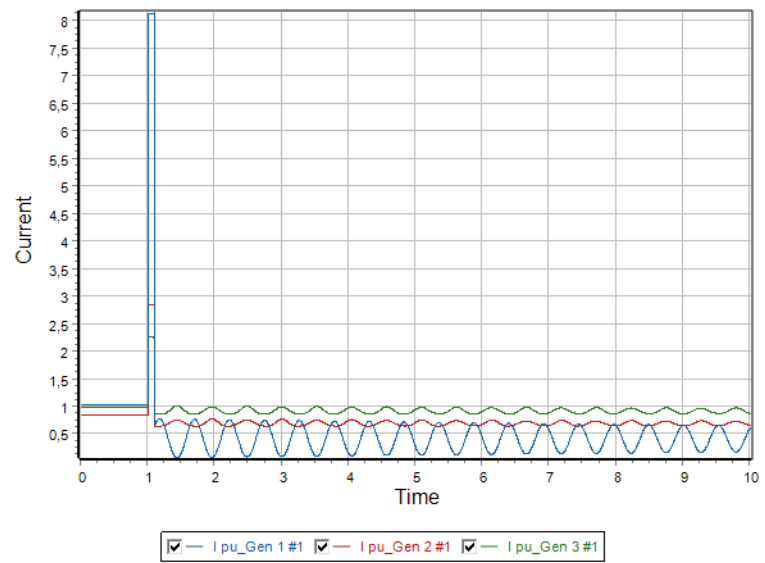


Fig. 5. Plot of current for fault at bus 4.

Fig. 6 shows the changes in the generator phase voltages when bus 4 is in a faulty condition. During the fault, there are sudden drops in the voltages, and the system undergoes an oscillation process. These voltage fluctuations indicate the disturbance in the system stability, and the system needs time to return to a stable condition. This graph highlights the voltage sags and subsequent recovery, providing insights into the voltage stability and resilience of the system during fault conditions.

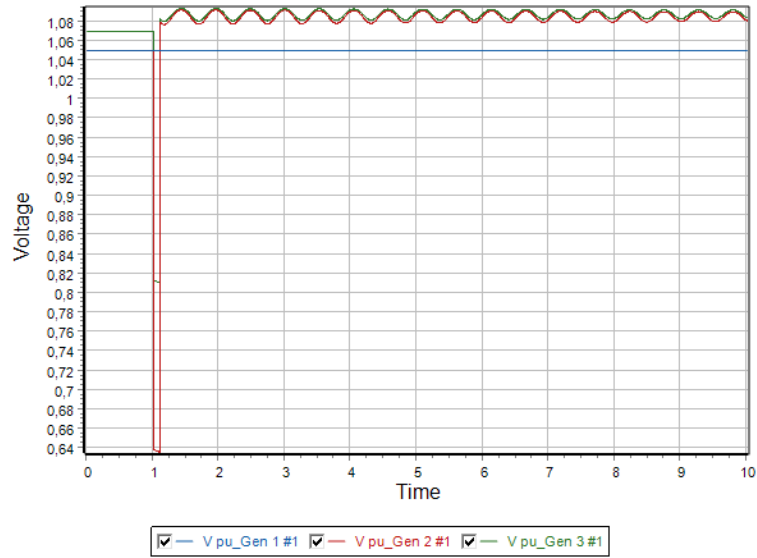


Fig. 6. Plot of voltage for fault at bus 4.

Fig. 7 depicts the variation of the rotor angle of the generators when bus 5 is in a faulty condition. Similar to the case of bus 4, there is a sudden increase in the rotor angle during the fault, and the system experiences an oscillation process to reach a stable state. This suggests that the system stability is disturbed, and it requires time to regain a stable operating condition after the fault.

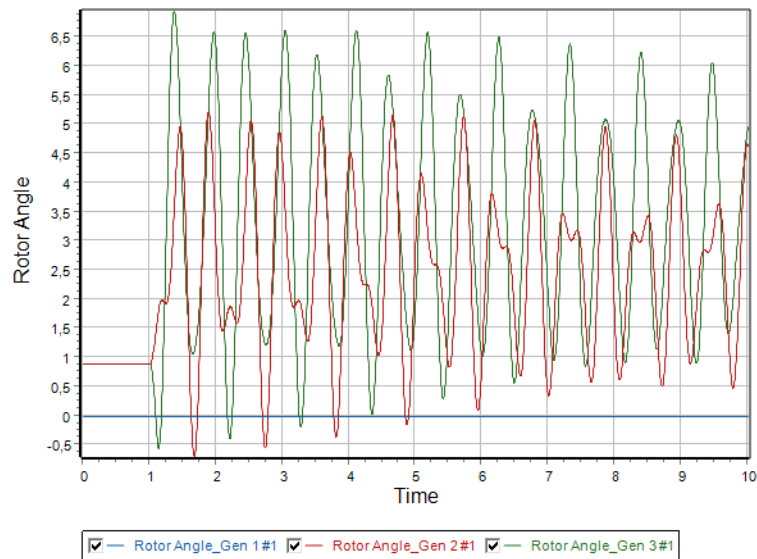


Fig. 7. Plot of rotor angle for fault at bus 5.

Fig. 8 represents the power flow variations due to a fault at bus 5. During the fault, there are significant fluctuations in the active powers, but the system undergoes a period of oscillation to reach a stable condition. These power fluctuations indicate the disturbance in the system stability. This graph helps in understanding the redistribution of power and the potential for overloads or underloads in different parts of the network.

Fig. 9 for a fault at bus 5 shows the fault currents and their behavior over time. During the fault, there are sudden increases in the currents, and the system experiences an oscillation process. These current variations suggest that the system stability is disturbed, and it requires time to regain a stable operating state. This information is vital for the accurate setting of overcurrent protection devices and ensuring they operate correctly during faults.

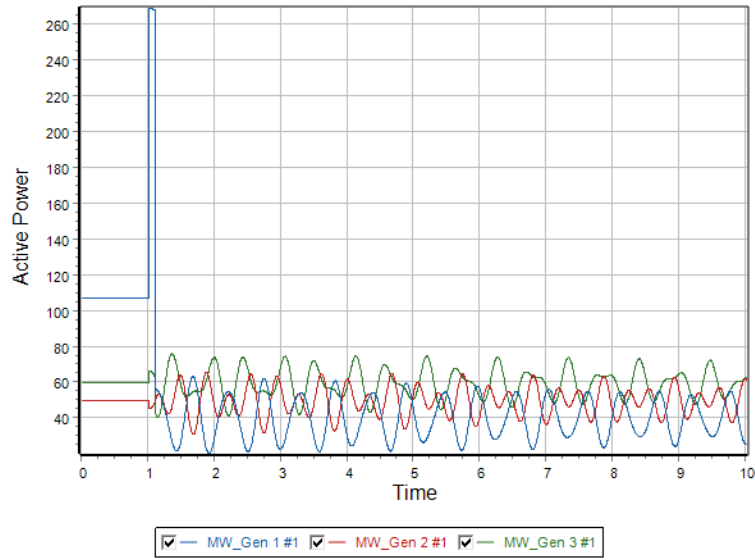


Fig. 8. Plot of active power for fault at bus 5.

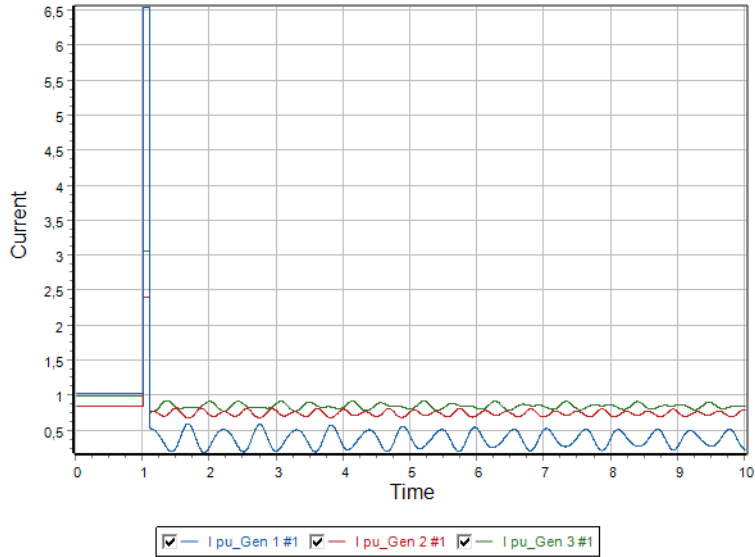


Fig. 9. Plot of current for fault at bus 5.

Fig. 10 illustrates the voltage response throughout the system when bus 5 is faulted. During the fault, there are sudden drops in the voltages, and the system undergoes an oscillation process. These voltage fluctuations indicate the disturbance in the system stability, and the system needs time to return to a stable condition. This graph helps in identifying critical voltage dips and the recovery process, crucial for voltage stability analysis and corrective actions.

The rotor angle dynamics for a fault at bus 6 are shown in Fig. 11. As in the previous cases, there is a sudden increase in the rotor angle during the fault, and the system experiences an oscillation process to reach a stable state. This indicates that the system stability is disturbed, and it requires time to regain a stable operating condition after the fault. This graph provides data on the generator stability and synchronization post-fault, essential for maintaining overall system stability.

Fig. 12 presents the power flow changes resulting from a fault at bus 6. During the fault, there are significant fluctuations in the active powers, but the system undergoes a period of oscillation to reach a stable condition. These power fluctuations indicate the disturbance in the system stability. This graph indicates the impact on power distribution and can highlight any potential issues with power balancing in the system.

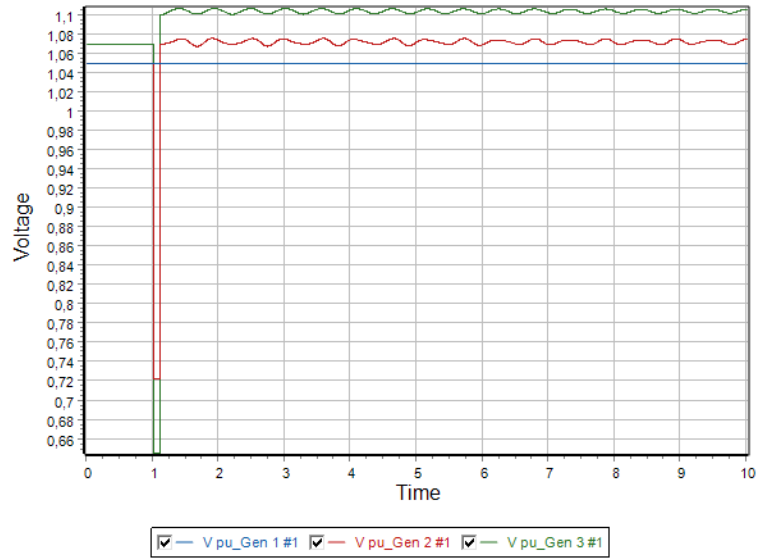


Fig. 10. Plot of voltage for fault at bus 5.

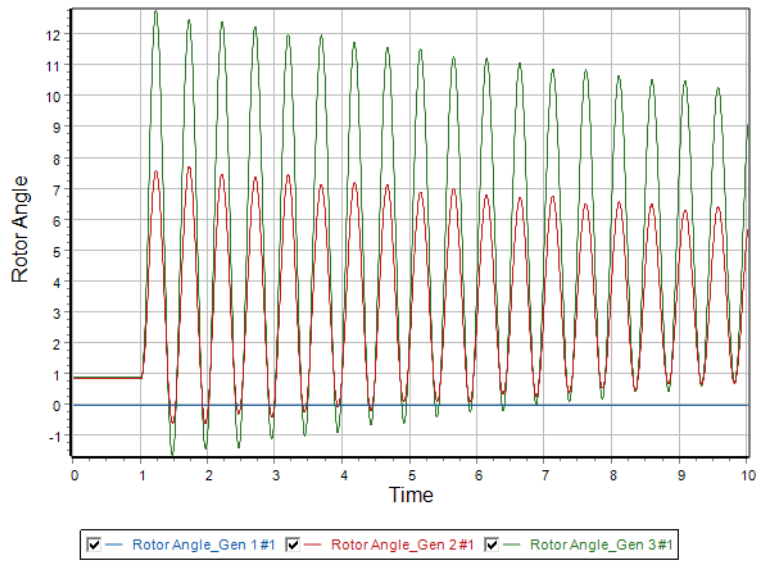


Fig. 11. Plot of rotor angle for fault at bus 6.

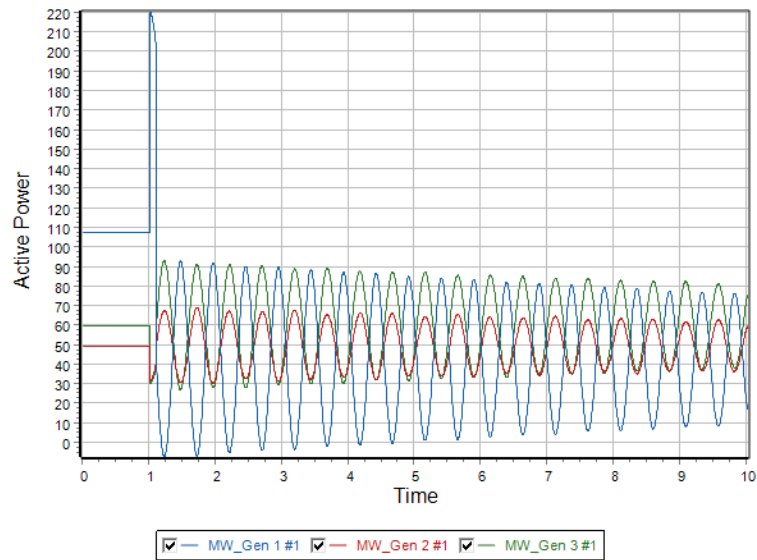


Fig. 12. Plot of active power for fault at bus 6.

The current levels during a fault at bus 6 are depicted in Fig. 13. During the fault, there are sudden increases in the currents, and the system experiences an oscillation process. These current variations suggest that the system stability is disturbed, and it requires time to regain a stable operating state. Analyzing these currents helps in understanding the severity of the fault and the required settings for protection equipment.

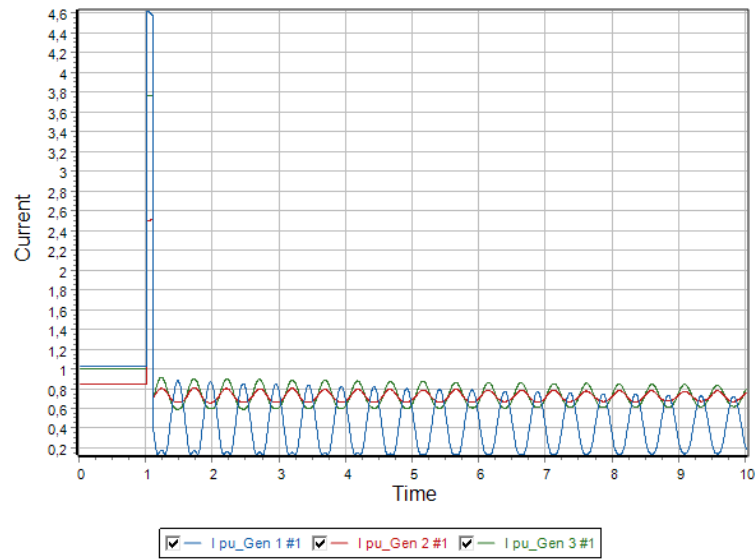


Fig. 13. Plot of current for fault at bus 6.

Fig. 14 shows the voltage variations across the system when bus 6 is faulted. During the fault, there are sudden drops in the voltages, and the system undergoes an oscillation process. These voltage fluctuations indicate the disturbance in the system stability, and the system needs time to return to a stable condition. This graph is crucial for evaluating the system’s voltage support mechanisms and the effectiveness of voltage control strategies.

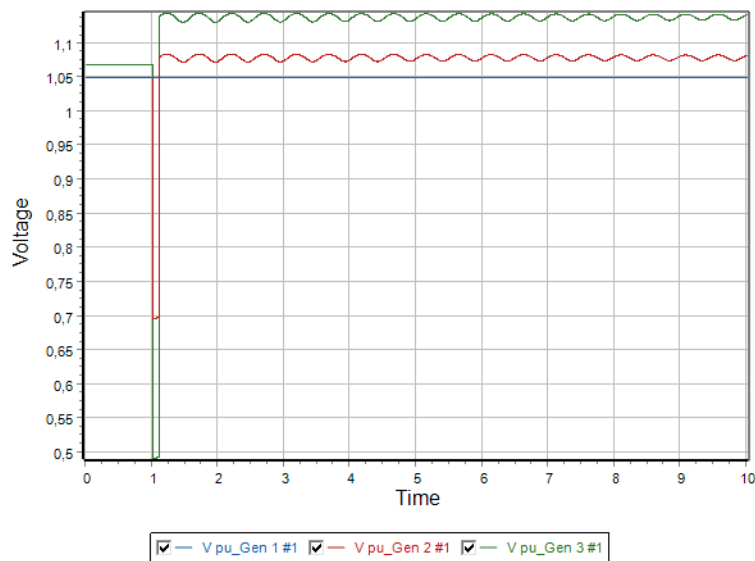


Fig. 14. Plot of voltage for fault at bus 6.

Each of these figures provides critical insights into different aspects of power system behavior under fault conditions, aiding in the comprehensive analysis and design of robust power systems. The detailed study of these graphs helps in improving fault detection, isolation, and system recovery strategies, ensuring reliable and stable operation.

The results align with established power system theory, demonstrating that three-phase balanced faults pose the most significant threat to stability due to substantial voltage deviations and phase angle shifts, while line-to-ground faults, the most frequent type, cause significant voltage instability at the faulted bus. Line-to-line faults primarily impact phase voltages, creating asymmetrical disturbances, and double line-to-ground faults exhibit complex dynamics, combining characteristics of both line-to-ground and line-to-line faults. The findings are consistent with previous research on transient stability using PowerWorld

Simulator, emphasizing the importance of fault location, fault type, and system configuration in determining overall stability and reliability.

The analysis underscores the critical role of fault location, with buses closer to the fault experiencing more pronounced effects. This highlights the need for localized protective measures that can quickly isolate faults and minimize their impact. The observed rotor angle dynamics, power flow changes, current variations, and voltage fluctuations provide critical insights into system stability, informing the design of control strategies and protection schemes. The study's findings can be used to develop and validate techniques that enhance power network resilience, such as power system stabilizers, robust power flow control strategies, and accurate settings for overcurrent protection devices. These insights are crucial for designing voltage support mechanisms and improving system resilience against disturbances.

Despite the valuable insights provided, the study is based on a simplified model and assumes ideal fault conditions. Future research should focus on extending this analysis to larger, more realistic power systems, investigating the impact of varying system parameters, and evaluating the effectiveness of different protection schemes. Exploring advanced control strategies, such as Flexible Alternating Current Transmission System (FACTS) devices, and the integration of renewable energy sources, along with their impact on transient stability, warrants further investigation. This research contributes to a broader understanding of power system dynamics and can inform the design and operation of more robust and efficient power systems capable of withstanding disturbances and maintaining stability under a wide range of conditions.

4. Conclusion

This research has conducted a comprehensive transient analysis of the IEEE 6 bus power system under various fault conditions using the PowerWorld Simulator. The study systematically investigated the system's dynamic behavior in response to single line-to-ground, line-to-line, double line-to-ground, and three-phase balanced faults at different bus locations. The analysis revealed distinct patterns of transient response for each fault type, highlighting the importance of understanding the specific characteristics of each fault scenario.

The results demonstrate that three-phase balanced faults, while less frequent, pose the most significant threat to system stability, causing substantial voltage deviations and phase angle shifts. Line-to-ground faults, although less severe, can still lead to voltage instability at the faulted bus. Line-to-line faults primarily impact phase voltages, creating asymmetrical disturbances that propagate through the network. Double line-to-ground faults exhibit complex transient dynamics, combining characteristics of line-to-line and line-to-ground faults, and testing the system's resilience and control mechanisms. The study underscores the necessity for robust protective measures and control strategies to mitigate the adverse effects of these faults. The findings highlight the importance of fault location, fault type, and system configuration in determining the overall stability and reliability of the power system. This research contributes to the broader understanding of power system dynamics and can be used to develop and validate control strategies, protection schemes, and mitigation techniques that can be applied to larger-scale power systems with similar characteristics.

Future research can investigate how varying system parameters like loading levels, generator inertia, and transmission line characteristics impact transient stability in power systems. Additionally, there is a need to evaluate different protection schemes and relaying strategies to determine their effectiveness in isolating faults and maintaining system stability. Exploring advanced control strategies, such as using FACTS devices, could also enhance power flow regulation and system robustness.

References

- [1] P. Bhatt and S. Kumar, "Comprehensive assessment of fault current contribution in smart distribution grid with solar photovoltaic," *Technology and Economics of Smart Grids and Sustainable Energy*, vol. 2, no. 1, 2017. <https://doi.org/10.1007/s40866-017-0023-8>
- [2] M. Begum, M. Alam, and K. Muttaqi, "Analytical expressions for characterising voltage dips and phase-angle jumps in electricity networks," *IET Generation, Transmission & Distribution*, vol. 13, no. 1, p. 116-126, 2018. <https://doi.org/10.1049/iet-gtd.2018.6348>
- [3] R. Salim, K. Salim, and A. Bretãs, "Further improvements on impedance-based fault location for power distribution systems," *IET Generation, Transmission & Distribution*, vol. 5, no. 4, p. 467, 2011. <https://doi.org/10.1049/iet-gtd.2010.0446>
- [4] D. Zhang, "An alternative approach to analyze un-symmetrical faults in power systems," *TENCON 2009 - 2009 IEEE Region 10 Conference*, Singapore, 2009, pp. 1-6. <https://doi.org/10.1109/tencon.2009.5396193>

- [5] Y. Altınok, M. Lüy, N. A. Metin, S. Görgülü Balcı, and F. Acar, "Sustainable grids: Smart meter solutions for efficient energy measurement," *International Scientific and Vocational Studies Journal*, vol. 8, no. 1, pp. 49–64, 2024. <https://doi.org/10.47897/bilmes.1485662>
- [6] K. Mets, J. A. Ojea, and C. Develder, "Combining power and communication network simulation for cost-effective smart grid analysis," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 16, no. 3, pp. 1771–1796, 2014. <https://doi.org/10.1109/surv.2014.021414.00116>
- [7] A. Çifci, "Use of PowerWorld simulator in learning power flow analysis: A computer-aided visualization tool," *The Journal of Graduate School of Natural and Applied Sciences of Mehmet Akif Ersoy University*, vol. 13, no. 2, pp. 281–291, Dec. 2022. <https://doi.org/10.29048/makufebed.1153316>
- [8] A. Jain, A. Mani, and A. S. Siddiqui, "Simulation of a microgrid with OpenDSS an open-source software package," *Lecture Notes in Electrical Engineering*, pp. 513–529, Jan. 2023. https://doi.org/10.1007/978-981-19-6383-4_42
- [9] C. Zuo, B. Wang, M. Zhang, M. A. Khanwala, and S. Dang, "Power flow analysis using PowerWorld: A comprehensive testing report," in *2015 International Conference on Fluid Power and Mechatronics (FPM)*, 2015.
- [10] H. Huang, Z. Mao, M. R. Narimani, and K. R. Davis, "Toward efficient wide-area identification of multiple element contingencies in power systems," in *2021 IEEE Power & Energy Society Innovative Smart Grid Technologies Conference (ISGT)*, 2021.
- [11] H. Wen, "Power flow analysis of 110kV power supply system based on PowerWorld," *Journal of Physics. Conference Series*, vol. 2495, no. 1, p. 012025, May 2023. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2495/1/012025>
- [12] X. Li, C. Liu, P. Guo, S. Liu, and J. Ning, "Deep learning-based transient stability assessment framework for large-scale modern power system," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 139, p. 108010, Jul. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2022.108010>
- [13] R. Kaur and D. Kumar, "Transient stability improvement of IEEE 9 bus system using power world simulator," *MATEC Web of Conferences*, vol. 57, p. 01026, 2016. <https://doi.org/10.1051/mateconf/20165701026>
- [14] M. Mahasathyavathi, R. Balasubramani, and L. Jeeva, "Load frequency control for multi-area power system using PWS," *International Journal of Research in Advent Technology*, vol. 7, no. 4, p. 212-219, 2019. <https://doi.org/10.32622/ijrat.732019187>
- [15] S. Kim and T. Overbye, "Optimal subinterval selection approach for power system transient stability simulation," *Energies*, vol. 8, no. 10, p. 11871-11882, 2015. <https://doi.org/10.3390/en81011871>
- [16] P. Demetriou, M. Asprou, J. Quirós-Tortós, and E. Kyriakides, "Dynamic IEEE test systems for transient analysis," *IEEE Systems Journal*, vol. 11, no. 4, p. 2108-2117, 2017. <https://doi.org/10.1109/jsyst.2015.2444893>
- [17] A. Anuar, M. A. A. Wahab, S. N. M. Arshad, M. I. F. Romli, A. H. A. Bakar, and M. A. A. Bakar, "Transient stability for IEEE 14 bus power system using power world simulator," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1432, no. 1, p. 012009, 2020. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1432/1/012009>
- [18] N. Anwar, A. H. Hanif, H. F. Khan, and M. F. Ullah, "Transient stability analysis of the IEEE-9 bus system under multiple contingencies," *Eng. Technol. Appl. Sci. Res.*, vol. 10, no. 4, pp. 5925–5932, 2020. <https://doi.org/10.48084/etasr.3273>
- [19] K. Patel, "Transient stability analysis and tuning of power system stabilizer for three machine nine bus system using frequency response approach," in *2020 International Conference on Advances in Computing and Communication Engineering (ICACCE)*, 2020.
- [20] G. M. Tina, G. Maione, S. Licciardello, and D. Stefanelli, "Comparative technical-economical analysis of transient stability improvements in a power system," *Appl. Sci. (Basel)*, vol. 11, no. 23, p. 11359, 2021. <https://doi.org/10.3390/app112311359>
- [21] P. V. Rajesh Varma, M. K. Kar, and A. K. Singh, "Transient analysis of a standard IEEE-9 bus power system using power world simulator," in *Advances in Smart Grid Automation and Industry 4.0*, Singapore: Springer Singapore, 2021, pp. 233–243. https://doi.org/10.1007/978-981-15-7675-1_22

- [22] G. M. Tina, G. Maione, and S. Licciardello, "Evaluation of technical solutions to improve transient stability in power systems with wind power generation," *Energies*, vol. 15, no. 19, p. 7055, 2022. <https://doi.org/10.3390/en15197055>
- [23] N. A. Salim, H. Mohamed, M. E. S. Bin Ensnat, and Z. M. Yasin, "System transient stability due to various contingency using power world simulator," in *2023 IEEE 3rd International Conference in Power Engineering Applications (ICPEA)*, 2023.
- [24] H. Saadat, *Power System Analysis*, 3rd ed., Alexandria: PSA Publishing LLC, 2010.

Investigation of the Enrichment Coefficient for Cu, Fe, Mn and Ni Elements in *Prunus armeniaca* L. Plant, Hekimhan – Hasançelebi (Malatya)

Güllü Kırat ^{a,1}, Esra Ünal Çakır ^b

^a Yozgat Bozok University, Department of Geological Engineering, Yozgat, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-1167-0574

^b Yozgat Bozok University, Department of Geological Engineering, Yozgat, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-4196-4303

Abstract

Hasançelebi iron (Fe) deposit is located in Hekimhan district of Malatya province. Plants can take up the elements found in the soil they grow on and accumulate them in different organs. Such plants are effectively used in the exploration of mineral deposits and environmental pollution research. For this reason, *Prunus armeniaca* L. (apricot) plant (branch, leaf, fruit) and the soil samples on which this plant grew were taken from the study area and the enrichment coefficient (EC) of Cu, Fe, Mn and Ni elements were examined. The enrichment coefficient is <1 in all locations of Cu, Fe, Mn and Ni elements examined. However, Cu element was calculated as 4.66 ppm in location 1 in branch / soil (D/T); 7.38 ppm, 5.40 ppm, 1.92 ppm and 5.05 ppm in locations 1, 2, 3 and 5 in leaf / soil (Y/T), respectively. When the relationship of sample locations with the elements is examined, Ni; It was observed that branch < fruit < leaf < soil, Mn and Fe; fruit < branch < leaf < soil, Cu; fruit = Branch < soil < leaf.

Keywords: “Fe deposit, enrichment coefficient, soil, Hasançelebi.”

1. Giriş

Çalışma alanı, Malatya'nın yaklaşık 95 km kuzeybatısında, Hekimhan İlçesine yaklaşık 18 km uzaklıkta bulunan Hasançelebi demir (Fe) yatağı Malatya – Sivas demir ve karayolları üzerinde yer almaktadır (Şekil 1). Türkiye'nin bugün için bilinen en büyük Fe yatağı olan Hasançelebi'de ilk maden yatakları çalışmalarına MTA Enstitüsü 1969 yılında başlamıştır [1, 2]. Bu tarihten sonra her gün biraz daha yoğunluk kazanan jeolojik ve teknolojik çalışmalar bugüne dek sürmektedir.

Demir (Fe) bitkiler için temel bir mikro besin maddesidir [3]. Bu element, çoklu hem sitokromlarında ve demir-kükürt (Fe-S) kümelerinde kofaktörler şeklinde bulunur [4]. Fe, bitkilerde fotosentez, mitokondriyal solunum, azot fiksasyonu ve metabolizması, kükürt asimilasyonu ve hormon ve DNA sentezi gibi birçok önemli biyolojik işlev için gereklidir [5, 6]. Bununla birlikte, Fe yerkabuğunda oldukça bol olmasına rağmen, alkali ve oksidatif koşullar altında bitkiler için zayıf bir şekilde kullanılabilir [7].

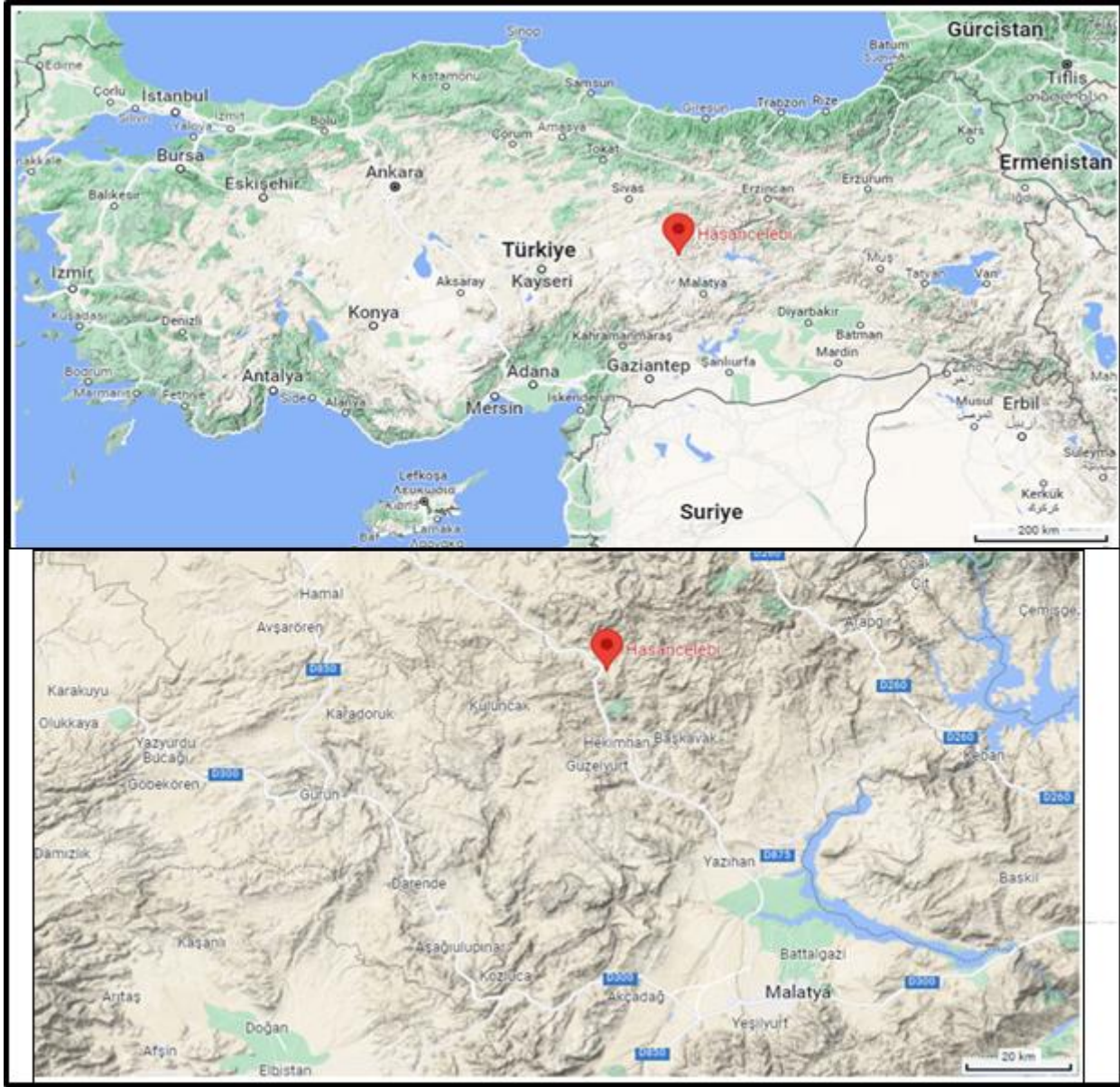
Jeokimyasal alanlar, mineralizasyon alanlarına karşılık gelen daha küçük bölgeler olup, kaya, toprak ve bitkilerdeki bazı elementlerin içeriği bu alanlarda genellikle daha yüksektir. Her alanda element içerikleri düzensiz dağılır. Bitkilerdeki element anormallikleri topraktaki benzer prensiplere dayanır ancak tam örtüşme beklenmez. Aynı bölgede litojeokimyasal ve biyojeokimyasal anomaliler oluşabilir ve bu anomaliler arasında farklılıklar gözlemlenebilir. Önemli maden yataklarındaki bitkilerde Mo, Cu, Zn, Sr, Co ve W gibi elementlerin yüksek konsantrasyonları tespit edilebilir. Bu elementler, çözeltilerle taşınabilme özellikleri nedeniyle biyojenik birikim açısından önemli rol oynar ve uzak yataklardan taşınarak elde edilebilir. Maden yatakları, bitkiler için önemli jeolojik ve jeokimyasal stres kaynaklarıdır. Bitkilerin biyojeokimyasal tepkileri, jeolojik ve madencilik sahalarından elde edilen verilere dayanarak incelenmiştir. Örtü kalınlığı 3 metreyi geçmeyen cevher sahalarında, bitkilerin bu stres faktörlerine tepkisi belirgin hale gelir. Stresli koşullarda bitki türleri, gösterge elementlerin içeriğinden etkilenir [8] [9].

Bitkilerdeki Fe toksisitesinin, Fe alımı ve taşınmasının düzenlenmesi ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Bitkilerde Fe alımı, topraktaki Fe konsantrasyonu tarafından düzenlenen spesifik taşıyıcılar tarafından kolaylaştırılır [10]. Büyüme ve gelişmelerinin çeşitli yönlerini olumsuz etkileyebileceğinden bitkiler için ciddi bir sorundur. Bodur büyümeye ve kök gelişiminin azalmasına

¹ Corresponding Author

E-mail Address: gullu.kirat@yobu.edu.tr

neden olabilir, bu da su ve besin alımının azalmasına ve fotosentetik aktivitenin azalmasına yol açar [11]. Ayrıca Fe toksisitesi, bitkinin fotosentez yapma kabiliyetini etkileyen klorofil içeriğinin azalmasına neden olarak büyüme ve üretkenliğin azalmasına yol açabilir [12]. Şiddetli vakalarda, yaprak nekrozu meydana gelebilir ve bitkinin ölümüne yol açabilir [13]. Yaprak sararması, kloroz ile ilişkili olan Fe toksisitesinin bir başka yaygın belirtisidir [14]. Ayrıca, Fe toksisitesi tohum üretiminin azalmasına neden olarak bitkinin üremesini ve hayatta kalmasını etkileyebilir [15, 16].



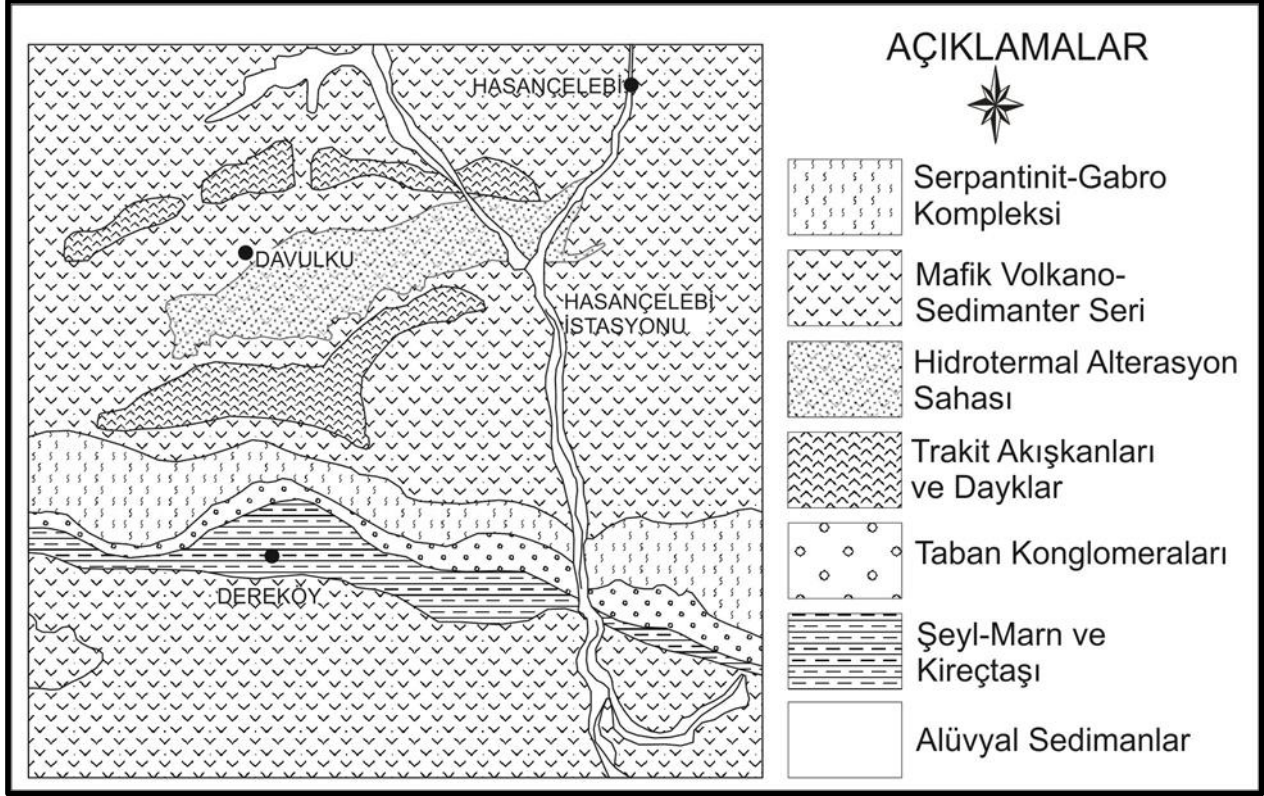
Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru haritası.

2. Bölgesel Jeoloji

Hekimhan-Deveci, Hekimhan -Hasańcelebi ve Hekimhan-Karakuz bölgelerinde önemli demir (Fe) rezervleri bulunmaktadır [17, 18]. Hekimhan'da bulunan Hasańcelebi demir (Fe) yatağı bölgedeki en önemli cevherleşmelerden biridir. Hasańcelebi bölgesi cevherleşmelerinin demiroksit - bakır - altın tipi bir cevherleşme olduğu belirtilmektedir [19, 20, 21, 22, 23]. Ancak cevherleşmeleri ve yan kayaç alterasyonunu oluşturan çözeltiler veya cevherleşme ve alterasyonların oluşum koşulları henüz ortaya konmamıştır. Bu açıdan Hasańcelebi demir yataklarında, cevherleşmeyi barındıran metazomatik zonlar içindeki skapolit, flogopit, fluorit, kalsit ve barit gibi mineraller üzerinde mikrotermometrik analizler yapılarak alterasyon ve cevherleşmenin oluşum koşulları belirlenmiştir [24].

Çalışma alanı, Doğu Toros Tektonik birliği içinde tanımlanmış olan Hekimhan Havzası olarak da bilinen bir havza içinde yer almaktadır (Şekil 2). Geç Kretase - Eosen zaman aralığında açılmış olan bu havza, platform tipi karbonatlar ve ofiyolitik kayalarla temsil edilen bir temel üzerinde yer almaktadır. Yüksekova- Baskil yayının kuzeyinde yer alan Hekimhan havzasının

temelini Geç Kampaniyen'de kuzeyden güneye aktarılan Mesozoyik yaşlı Hocalıkova Ofiyoliti oluşturmaktadır [25]. Hekimhan ile Hasançelebi arasındaki serpantinitle, doğu-batı uzanımlı bir ters fay boyunca kuzeye doğru siyenit, volkanik ve metazomatik kayalar üzerine itilmişlerdir. Hem siyenitler hem de Hasançelebi volkanitleri içinde gözlenen skapolitli metazomatik kayalar Gökçe [26] ve Kuşçu vd., [21] tarafından metazomatik zonlar olarak tanımlanmıştır. Bu zonlar içinde yaklaşık D-B uzanımlı uyumsuz, dike yakın siyenit porfirsiyenit apolit, diyabaz ve lamporfir daykları yer almaktadır. Metazomatik zonların ana minerali skapolittir. Skapolitin yanı sıra granat, piroksen, aktinolit, filogopit, albit, diyopsit, alkali feldspat, klorit, kalsit, tremolit, spekülarit ve epidot bulunmaktadır. Bu mineral toplulukları hem siyenit hem de trakitler üzerinde oluşmuş olup, aktinolit, hematitserizit- kuvars-kalkopiritli zonlar daha çok trakitik kayalarda gözlenen topluluklarıdır [21].



Şekil 2. Hekimhan Sahası'nın Jeoloji Haritası [27, 28, 29'den değiştirilerek alınmıştır].

3. Yöntem

Çalışma kapsamında örneklerin toplandığı her bir lokasyonun konumu GPS (Global Positioning System; Küresel Konumlama Sistemi) cihazı ile belirlenmiştir. Bölgede daha önceki jeolojik çalışmalardan yararlanılarak, sahanın jeolojik ve jeokimyasına (biyojeokimya) yönelik çalışmalar yapmak için *Prunus armeniaca* L. (kayısı) bitkisi (dal, yaprak ve meyve) ve bu bitki ile ilişkili toprak örnekleri alınmıştır.

Zenginleşme katsayısı (ZK) (biyoakümülyasyon katsayısı) yer kabuğunda bulunan bitki ve hayvan organlardaki ve kayaç, sediment, toprak ve sudaki ağır metal birikmesinin sayısal bir veri olarak belirlenmesinde kullanılmaktadır [30, 31, 32]. Bu katsayı, bitki organlarındaki (dal, yaprak ve meyve) metal konsantrasyonunun, topraktaki metal konsantrasyonuna oranı ile elde edilir [33; 34, 35, 36; 37; 38]:

$$ZK = \frac{C_{(Bitki\ Organi)}}{C_{(Toprak)}} \quad (1)$$

(1) nolu Zenginleşme Katsayısı (ZK) dört ayrı sınıfta incelenmiştir. Bunlar [30]:

- ZK < 0.01 akümülatör olmayan bitkiler,
- ZK = 0.01 - 0.1 düşük miktarda akümülatör bitkiler,
- ZK = 0.1 - 1.0 orta miktarda akümülatör bitkiler,

- ZK = 1 - 10 yüksek miktarda akümülatör bitkiler şeklindedir.

Bu orandan elde edilen verilere dayanılarak, toprakta bulunan metallerin bitki organları (dal, yaprak, meyve) tarafından alındığı ortaya konulur.

Metal içeriği bitkilerin organlarına göre değiştiğinden, yerden 1-1.5 m yüksekliğinde aynı yaşta ve Fe işletmesine bakacak şekilde genç yaprak, dal ve meyvelerden örnekler alınmıştır. Toplanan kayısı (*Prunus armeniaca* L.) bitki örnekleri organlarına ayrılarak önce musluk suyunda yıkanmış ardından saf su ile yıkanmıştır. Laboratuvar ortamında oda sıcaklığında kurutulan bu bitki organları ve 2 mm açıklığa sahip elekten geçirilen toprak örnekleri numaralandırılarak analiz için laboratuvara gönderilmiştir. Çalışma alanından 5 ayrı lokasyondan alınan *Prunus armeniaca* L. bitkisi dal, yaprak ve meyve şeklinde organlarına ayrılarak toplam 15 adet bitki örneği elde edilmiştir. Ayrıca her bir *Prunus armeniaca* L. bitkisinin üzerinde yetiştiği topraklardan da 5 adet örnek alınarak toplam 20 adet örneğin Cu, Fe, Mn ve Ni elementlerinin analizi yaptırılmıştır. Analizler Yozgat Bozok Üniversitesi, Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkez (BILTEM)'inde ICP-MS cihazı kullanılarak alınan örneklerin jeokimyasal analizleri yaptırılmıştır. Yapılan analizler sonucunda elde edilen veriler istatistiksel olarak Tablo 1'de sunulmuştur.

4. Sonuçlar ve Tartışma

4.1. Bakır (Cu)

Bitkiler, ihtiyaç duydukları belirli metalleri bünyelerine alırken, bazı türler birçok metali biriktirir [39]. Sürekli element biriktirme sonucu bitkiler ya ölür ya da fizyolojik ve morfolojik değişiklikler geçirir [40]. Bitkilerde önemli bir metal olan bakır (Cu), fotosentez ve solunum, nitrat metabolizması, su geçirgenliği ve üreme gibi fizyolojik ve biyokimyasal süreçlerde kritik rol oynar. Yerkabuğunda rapor edilen bakır miktarı 25-75 ppm arasında değişmektedir [41]. Hasançelebi Demir madeni alanında, toprak numunelerindeki bakır miktarları T3 (37.08 ppm) ve T4 (28.28 ppm) lokasyonlarında rapor edilen aralık içinde yer almaktadır (Tablo 1).

Bakır (Cu) bitkiler için klorofil üretimi ve protein sentezi açısından önemli bir besin maddesidir [42, 43, 44] Bitkilerin büyümesi ve gelişmesi için bakır gereklidir [45]. Organik maddenin Cu'ı çok güçlü bir şekilde bağlaması sonucunda organik madde bakımından zengin ve pit (%50-80 aralığında organik madde içerenler) topraklarda Cu eksikliği görülebilmektedir. Kumlu toprakların yıkanması sonucunda da Cu eksikliği ortaya çıkar. Bitkilerde Cu eksikliğinde genç yapraklarda sarılık (kloroz), geç olgunlaşma, bodur gelişme ve bazı dokularda kahverengi lekeler görülebilmektedir [42, 44, 45, 46, 47, 48]

Toprakda Cu miktarı fazla olduğunda, birçok toksik durum gözlenir. Cu'in alımı zorlaştığında Fe eksikliğine benzeyen klorozlar görülür ve sürgün ve kök gelişimi zayıflar [42, 47, 48, 49]. Çalışma alanındaki topraklarda yetişen *Prunus armeniaca* L. bitkisinin dal ve meyvesine göre, yaprakta Cu (20.89-121.91 ppm) miktarının daha fazla olduğu görülmüştür (Tablo 1).

Tipik olarak, bitki dokularındaki Cu konsantrasyonu 5 ile 30 ppm arasında değişmektedir [50] ve toprakta yüksek Cu konsantrasyonunun varlığında bile bitkilerde 100 ppm'den fazla konsantrasyon nadirdir [51]. Mevcut çalışmadaki *Prunus armeniaca* L. bitkisinin organlarındaki (dal, yaprak ve meyve) Cu değeri (M2, M5 ve D4 dışında) 6.83 - 121.91 ppm arasında değişmektedir (Tablo 1).

4.2. Demir (Fe)

Demir (Fe), fotosentez, solunum ve azot metabolizması gibi çeşitli fizyolojik süreçlerde kritik rol oynayan ve bitki büyümesi ile gelişimi için gerekli bir mikro besin maddesidir [14, 16]. Fe, birçok ekili toprakta nispeten bol miktarda bulunur ve ortalama olarak 20-40 ppm toplam konsantrasyona sahiptir [52]. Bitkiler, insanlar ve hayvanlar için mutlak gerekli olan Fe, tüm canlılar tarafından az miktarda ihtiyaç duyulan bir elementtir [53].

Topraktaki Fe, çoğunlukla minerallerin kristal kafeslerinde yapı elementi olarak bulunur. Örneğin, ojit, olivin, biotit ve hornblend gibi Fe-silikat mineralleri, Fe içeren primer minerallerdir. Ayrıca, kil minerallerinde bulunan Fe, toprakta karbonat, hidroksit, fosfat ve oksit formunda bulunur [42, 47, 49, 54].

Fe miktarı 3.5 ppm'in altında olan topraklar, Fe açısından fakir olarak kabul edilir. Kireçli topraklar için Fe sınırı 6.7 ppm, kireçsiz topraklar için ise 3.7 ppm'dir [55]. Çalışma alanındaki topraklarda Fe miktarının 709.08-1096.6 ppm arasında değişmesi, bu topraklarda çok yüksek miktarda Fe bulunduğunu gösterir. Bu topraklarda yetişen *Prunus armeniaca* L. bitkisinin dal ve meyvesine göre, yaprakta Fe miktarının daha fazla olması, bu elementin yaprakta biriktiğini göstermektedir (Tablo 1).

4.3. Manganez (Mn)

Manganez (Mn) yerkabuğunu oluşturan on birinci ve bol bulunan bir elementtir. Bolluk açısından, Mn içeren bileşikler yerkabuğunda demirden (Fe) sonra gelir. Topraktaki toplam manganez miktarı 20 - 3000 ppm arasında olup ortalama 600 ppm'dir. İki değerlikli mangan (Mn^{2+}) kil mineralleri ve organik materyal tarafından absorbe edilir ve bitki beslenmesi açısından iki değerlikli manganez iyonları (Mn^{2+}) en önemlisidir [56]. Kullanılabilir mangan miktarı toprak pH'sı, organik madde, nem ve toprak havalandırmasından etkilenir [57, 58]. Hasaңcelebi Fe yatağından alınan toprak numunelerindeki Mn miktarının 34.94 – 42.28 ppm aralığında değiştii gözlenmiştir. Çalışma alanındaki *Prunus armeniaca* L. bitkisinin dal ve meyvesine göre, yaprakta Mn (2.99-6.44 ppm) miktarının bu organlara göre daha fazla olduğu gözlenmiştir (Tablo 1).

4.4. Nikel (Ni)

Yerkabuğunda Ni fazla miktarda bulunan bir elementtir. Tarım topraklarında Ni, içeriği 3 ile 1.000 ppm arasında değişmektedir. Bazik magmatik kayalardan oluşan topraklar 2.000 ile 6.000 ppm Ni içerebilir. Bitki kökleri ile Ni^{+2} alımı Cu^{2+} 'ye benzemektedir [59]. Nikel (Ni) elementinin bitki kökleri tarafından topraktan emildiğini ve bitkinin toprak üstü organlarına taşındığını ifade etmektedir. Nikelin bu hareketi, organik bileşenlerle yakından ilişkilidir. Yani, nikelin bitki içinde taşınması ve dağılımı, bitkinin içindeki organik maddelerle doğrudan bağlantılıdır. Özetle, bitkilerin nikelini nasıl emdiğini taşıdığını, bitki içindeki organik bileşiklerin varlığına ve bunlarla olan etkileşime bağlıdır [60, 61, 62].

Ni eksikliği olan bitkilerin yaprak uçlarında çok yüksek miktarda üre birikir. Ni eksikliğinde bitkilerin toprak altı ve toprak üstü organlarının gelişimi azalırken, bitkilerde yeşil renk giderek azalmakta, nekroz ve klorozlar oluşmaktadır. Ancak genel olarak bitkilerde Ni eksikliği görülmez [47, 49]. Yüksek miktarda Ni içeren topraklar üzerinde yetiştirilen bitkilerde toksiklik (zehirlenmeler) meydana gelmektedir. Bu nedenle toprağın kalsiyum ve potasyum ile gübrenmesi Ni'in toksik etkisini önlemektedir. Ayrıca fosfatlı (P) gübrelerin Ni'in toksik etkisini artırdığı da bilinmektedir [47, 48, 54]. Çalışma alanındaki tarım topraklarındaki Ni içeriği 12.57-15.71 ppm arasında değiştii gözlenmiştir. Çalışma alanındaki *Prunus armeniaca* L. bitkisinin dal ve meyvesine göre, yaprakta Ni (0.46-0.6 ppm) miktarının bu organlara göre daha fazla olduğu gözlenmiştir (Tablo 1).

Tablo 1. Çalışma alanındaki *Prunus armeniaca* L. bitkisinin meyve, yaprak, dal ve topraklarına ait minimum, maksimum, aritmetik ortalama ve standart sapma değerleri (ppm).

Meyve (M)	Mn	Fe	Ni	Cu	Yaprak (Y)	Mn	Fe	Ni	Cu
Minimum	0.38	1.64	0.2	4.81	Minimum	2.99	13.09	0.46	20.89
Maksimum	1.09	3.9	0.3	13.23	Maksimum	6.44	17.83	0.6	121.91
Ortalama	0.67	2.89	0.24	7.67	Ortalama	4.66	15.55	0.52	72.57
St. Sapma	0.29	0.94	0.04	3.49	St. Sapma	1.37	2.09	0.05	38.42
Dal (D)	Mn	Fe	Ni	Cu	Toprak (T)	Mn	Fe	Ni	Cu
Minimum	1.11	3.98	0.09	3.86	Minimum	34.94	709.08	12.57	10.09
Maksimum	1.6	16	0.15	77	Maksimum	42.28	1096.6	15.71	37.08
Ortalama	1.39	8.17	0.12	22.23	Ortalama	38.40	877.17	14.31	22.13
St. Sapma	0.20	5.38	0.02	30.99	St. Sapma	2.74	147.93	1.36	10.60

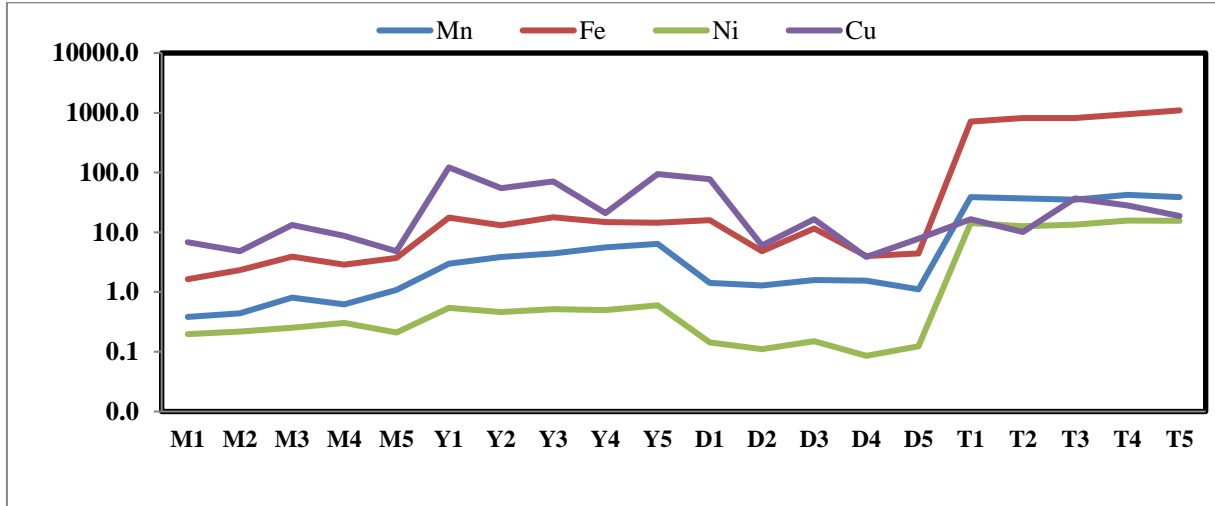
Mn ve Fe bitkilerde bir etkileşime sahiptir, bitkiler tarafından Fe alımı topraktaki yüksek Mn miktarlarından etkilenir, aynı (Mn tarafından Fe eksikliği) bitkilerde Mn toksisitesinin neden olduğu sorunları daha da kötüleştirebilir. Ayrıca, topraktaki Fe miktarı çok fazla ise, Mn birikimine neden olur ve bitki için Mn alımı azalabilir [56, 58, 63]. Fe eksikliğinin belirtileri çoğunlukla genç yapraklarda gözlenir [47, 48]. Toprakta Cu miktarının artması, Fe miktarını azalttığı sonucuna varılmıştır [64,65]. Çalışma alanından alınan *Prunus armeniaca* L. bitkisinin dal, yaprak ve meyve organlarında Fe miktarının Mn miktarından yüksek olduğu görülmüştür. Toprak örneklerinde $Fe > Mn > Cu > Ni$ şeklinde bir element dağılımı gözlenmiştir (y eksenini logaritmik) (Şekil 3).

Fe elementinin M/T oranı ile elde edilen ZK değeri tüm lokasyonlarda, D/T oranı ile elde edilen ZK değeri 4 ve 5 numaralı lokasyonlarda < 0.01 olduğundan akümülatör olmayan bitkiler olarak sınıflandırılabilir (Tablo 2).

Mn ve Ni elementlerinin D/T, Y/T ve M/T oranı ile elde edilen ZK değeri tüm lokasyonlarda 0.01 - 0.1 arasında bulunduğundan düşük miktarda akümülatör bitkiler olarak düşünülebilir. Mn ve Ni elementlerinin D/T, Y/T ve M/T oranlarıyla hesaplanan ZK değerleri, tüm lokasyonlarda 0.01 - 0.1 arasında bulunduğundan, bu bitkiler düşük akümülatör olarak değerlendirilebilir. Benzer şekilde, Fe elementinin Y/T oranıyla hesaplanan ZK değerleri tüm lokasyonlarda, D/T oranıyla hesaplanan ZK değerleri ise 1, 2 ve 3 numaralı lokasyonlarda 0.01 - 0.1 arasında bulunduğundan, bu bitkiler de düşük akümülatör olarak kabul edilebilir (Tablo 2).

Cu elementinin D/T oranı ile elde edilen ZK değeri 2 - 5 numaralı lokasyonlarda, Y/T oranı ile elde edilen ZK değeri 4 numaralı lokasyonda ve M/T oranı ile elde edilen ZK değeri tüm lokasyonlarda 0.1 - 1.0 arasında olduğundan orta miktarda akümülatör bitkiler olarak sınıflandırılabilir. Ancak bu elementin D/T oranı ile elde edilen ZK değeri 1 numaralı

lokasyonda, Y/T oranı ile elde edilen ZK değeri 1, 2, 3 ve 5 numaralı lokasyonlarda 1 - 10 arasında olduğundan yüksek miktarda akümülatör bitkiler olarak düşünülebilir (Tablo 2).



Şekil 3. Çalışma alanındaki *Prunus armeniaca* L. bitkisinin meyve (M), yaprak (Y), dal (D) ve topraklarına (T) ait Cu, Fe, Mn ve Ni değerleri (ppm).

Tablo 2. Çalışma alanındaki *Prunus armeniaca* L. bitkisinden elde edilen analiz sonuçlarına göre hesaplanan Zenginleşme Katsayıları; Dal/Toprak (D/T), Yaprak/Toprak (Y/T), Meyve/Toprak (M/T) değerleri (ppm).

Ö. No	Mn			Fe		
	D/T	Y/T	M/T	D/T	Y/T	M/T
1	0.04	0.08	0.01	0.02	0.02	0.00
2	0.04	0.11	0.01	0.01	0.02	0.00
3	0.05	0.13	0.02	0.01	0.02	0.00
4	0.04	0.13	0.01	0.00	0.02	0.00
5	0.03	0.17	0.03	0.00	0.01	0.00
Ö. No	Ni			Cu		
	D/T	Y/T	M/T	D/T	Y/T	M/T
1	0.01	0.04	0.01	4.66	7.38	0.41
2	0.01	0.04	0.02	0.60	5.40	0.48
3	0.01	0.04	0.02	0.44	1.92	0.36
4	0.01	0.03	0.02	0.14	0.74	0.31
5	0.01	0.04	0.01	0.42	5.05	0.26

5. Sonuçlar

Çalışma alanındaki topraklarda yetişen kayısı (*Prunus armeniaca* L.) bitkisinin yaprağındaki Cu, Fe, Ni ve Mn element miktarlarının dal ve meyve element miktarlarına göre daha fazla olduğu görülmüştür. Toprak örneklerinde $Fe > Mn > Cu > Ni$ şeklinde bir element dağılımı gözlenmiştir.

Fe elementinin M/T oranı ile elde edilen ZK değeri tüm lokasyonlarda < 0.01 olduğundan akümülatör olmayan bitkiler ve D/T ve Y/T oranı ile elde edilen ZK değeri tüm lokasyonlarda 0.01 - 0.1 arasında bulunduğu düşük miktarda akümülatör bitkiler; Mn ve Ni elementlerinin D/T, Y/T ve M/T oranı ile elde edilen ZK değeri tüm lokasyonlarda 0.01 - 0.1 arasında bulunduğu düşük miktarda akümülatör bitkiler; Cu elementinin M/T oranı ile elde edilen ZK değeri tüm lokasyonlarda 0.1 - 1.0 arasında olduğundan orta miktarda akümülatör bitkiler olarak sınıflandırılabilir. Cu, Y/T oranı ile elde edilen ZK değeri 1, 2, 3 ve 5 numaralı lokasyonlarda 1 - 10 arasında olduğundan yüksek miktarda akümülatör bitkiler olarak düşünülebilir.

Teşekkür: Bu çalışma Yozgat Bozok Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) FHD-2024-1384 numaralı proje ile desteklenmiştir

Kaynaklar

- [1] MTA Enstitüsü, "Hasançelebi - Hekimhan – Malatya demir madeni, Maden İşletme zenginleştirme ve peletleme tesisleri ön fizibilite etüdü: Jeolojik, Jeofizik ve Hidrojeolojik etüdler," Cilt 1, Aglomerasyon Projesi, Cilt 7, M.T.A. ön fizibilite raporları, Ankara, 1976.
- [2] A. Çağatay ve O. Arda, "Hasançelebi demir yalağının titanyum ve alkali sorunları," *Jeoloji Mühendisliği*, ss. 39-46, 1979.
- [3] C. A. Krohling, F. J. Eutrópio, A. A. Bertolazi, ve diğerleri, "Ecophysiology of iron homeostasis in plants," *Soil Science and Plant Nutrition*, cilt 62, ss. 39–47, 2016.
- [4] C. Ferousi, S. Lindhoud, F. Baymann, B. Kartal, M. S. Jetten, ve J. Reimann, "Iron assimilation and utilization in anaerobic ammonium oxidizing bacteria," *Current Opinion in Chemical Biology*, cilt 37, ss. 129–136, 2017.
- [5] J. Balk ve M. Pilon, "Ancient and essential: the assembly of iron–sulfur clusters in plants," *Trends in Plant Science*, cilt 16, ss. 218–226, 2011.
- [6] T. B. Ibañez, L. F. M. Santos, A. M. Lapaz, ve diğerleri, "Sulfur modulates yield and storage proteins in soybean grains," *Scientia Agricola*, cilt 78, e20190020, 2021.
- [7] G. J. Lei, X. F. Zhu, Z. W. Wang, F. Dong, N. Y. Dong, ve S. J. Zheng, "Abscisic acid alleviates iron deficiency by promoting root iron reutilization and transport from root to shoot in Arabidopsis," *Plant, Cell & Environment*, cilt 37, ss. 852–863, 2014.
- [8] B. Y. Pehlivanli, "Doğal jeokimyasal stres altındaki bitki türlerinin iz element ve nadir toprak elementlerin (NTE) birikimi," *Tarım Bilimleri Alanında Multidisipliner Güncel Çalışmalar III*, Ankara: Iksad Publications, 2023, ss. 113–143.
- [9] B. Y. Pehlivanli ve E. Ergin, "Main and trace element 'content and enrichment' of growing plant species around Eskişehir boron mines in the Western Anatolia Basin of Türkiye," *Medicinal and Economic Importance of Plants*, Ankara: Iksad Publications, 2023, ss. 217–242.
- [10] J. Morrissey ve M. L. Guerinot, "Iron uptake and transport in plants: the good, the bad, and the ionome," *Chemical Reviews*, cilt 109, sayı 10, ss. 4553–4567, 2009.
- [11] J. E. Peña-Olmos, F. Casierra-Posada, ve M. A. Olmos-Cubides, "The effect of high iron doses (Fe²⁺) on the growth of broccoli plants (Brassica oleracea var. Italica)," *Agronomía Colombiana*, cilt 32, sayı 1, ss. 22–28, 2014
- [12] G. de Oliveira Jucoski, J. Cambraia, C. Ribeiro, J. A. de Oliveira, S. O. de Paula, ve M. A. Oliva, "Impact of iron toxicity on oxidative metabolism in young Eugenia uniflora L. plants," *Acta Physiologiae Plantarum*, cilt 35, ss. 1645–1657, 2013
- [13] N. Zahra, M. B. Hafeez, K. Shaukat, A. Wahid, and M. Hasanuzzaman, "Fe toxicity in plants: Impacts and remediation," *Physiologia Plantarum*, vol. 173, no. 1, pp. 201–222, 2021.
- [14] A. Meharg, *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*, P. Marschner (Ed.). Amsterdam, Netherlands: Elsevier/Academic Press, 2011, ss. 684. ISBN: 978-0-12-3849052. *Experimental Agriculture*, cilt 48, sayı 2, s. 305, 2012.
- [15] S. Kumari, R. Kumar, S. Chouhan, ve P. L. Chaudhary, "Influence of various organic amendments on growth and yield attributes of mung bean (Vigna radiata L.)," *International Journal of Plant & Soil Science*, cilt 35, sayı 12, ss. 124–130, 2023. [Çevrimiçi]. Ulaşılabilir: <https://doi.org/10.9734/ijpss/2023/v35i1229756>
- [16] V. Harishet, S. Aslam, S. Chouhan, Y. Pratap, ve S. Lalotra, "*Int. J. Environ. Clim. Change*", cilt 13, sayı 8, ss. 1894–1900, 2023. Makale no. IJECC.101675.
- [17] "Malatya İli Maden ve Enerji Kaynakları," MTA, 2010. [Çevrimiçi]. Ulaşılabilir: https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/bilgimerkezi/maden_potansiyel_2010/malatya_madenler.pdf
- [18] G. Kırat ve A. Vural, "Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) ve ilgili maden yatakları," M. Hatipoğlu, Ed., *Yer Bilimleri ve Mühendisliğinde Güncel Çalışmalar*, İstanbul, Türkiye: BİDGE Yayınları, 2024, ss. 49–66.

- [19] İ. Kuşçu, "Fe-oksit-Cu-Au-REE (Olympic Dam) tipi yataklar: Genel özellikleri-oluşum modeli ve Orta Anadolu potansiyelinin bir değerlendirmesi," *Süleyman Demirel Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü 20. Yıl Jeoloji Sempozyumu, Bildiri Özleri*, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları No. 73, s. 176, 2003.
- [20] H. Yılmaz, Ö. Dumanlılar, Y. Ay, A. Tablacı, ve Ö. Torun, "Hekimhan (Malatya) yöresindeki demir yataklarının jeolojik konumları," *57. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Bildiri Özleri Kitabı*, ss. 105–106, 2004.
- [21] İ. Kuşçu, R. Marschik, N. Kaymakçı, E. Yılmaz, G. Demirela, H. Gökçe, ve N. Güleç, "Hasançelebi ve Karakuz (Malatya) demiroksit yataklarındaki alterasyonların kökeni: Tuzlu-evaporitik sularla yıkanma modeline karşı magmatik-hidrotermal model," *58. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Genişletilmiş Bildiri Özleri Kitabı*, ss. 75–77, 2005, Ankara.
- [22] İ. Kuşçu, E. Yılmaz, G. Demirela, ve H. Gökçe, "Orta ve Batı Anadolu'daki bazı skarn tipi Fe-oksit yataklarının Fe-oksit-Cu-Au (Doba) potansiyeli [Fe-oxide-Cu-Au (IOCG) potential of some skarn type iron-oxide deposits in Central and Western Anatolia]," H. Öztürk, A. Kahriman, ve N. Hanilçi, Eds., *Symposium on Turkey's Iron Deposits Geology, Mining and Existing Problems Abstract Book*, ss. 181–206, 2005. (Türkçe ve İngilizce özetle).
- [23] İ. Kuşçu, E. Yılmaz, G. Demirela, H. Gökçe, R. Marschik, N. Kaymakçı, ve N. Güleç, "Hasançelebi ve Karakuz (Malatya) bölgeleri demiroksit yataklarında alterasyon zonlanması," *58. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Genişletilmiş Bildiri Özleri Kitabı*, ss. 66–67, 2005, Ankara.
- [24] G. Sezerer Kuru, İ. Kuşçu, Y. Bilge Şalış, E. Yılmaz, ve G. Demirela, "Hasançelebi (Malatya) demir oksit yataklarının oluşum koşulları; mikrotermometrik bir yaklaşım," *MTA Dergisi*, cilt 132, ss. 101–111, 2006.
- [25] Ö. F. Gürer, "Hekimhan - Hasançelebi (Malatya) dolayının jeoloji incelemesi," İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 323 s., 1992.
- [26] H. Gökçe, "Hekimhan-Hasançelebi demir yatağının jeolojisi ve skapolitlerin mineralojisi ve jeokimyası," Niğde Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 2005.
- [27] H. Stendal, T. Ünlü, ve J. Madsen, "Geological setting of iron deposits of Hekimhan province, Malatya, Central Anatolia Turkey," *Trans. Instn. Min. Metall. (Sect. B: Appl. Earth Sci.)*, cilt 104, ss. 46–54, 1995.
- [28] L. Gürcan, "Hekimhan bölgesinin jeolojisi ve stratigrafisi," Doktora Tezi, M.T.A., ss. 2–39, 2002, Malatya.
- [29] T. Kundi, "Hekimhan ve civarı maden yatakları," Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, 55 s., 2005, Elazığ.
- [30] L. Kalender ve Ö. N. Alçiçek, "Astragalus angustifolius, Artemisia ve Juncus effusus'un uranyum ve toryum için biyoakümülatör özellikleri," *Fırat Üniv. Müh. Bil. Dergisi*, cilt 28, sayı 2, ss. 267–273, 2016.
- [31] USEPA (Environmental Protection Agency), "Introduction to phytoremediation," EPA/600/R-99/107, National Risk Management Research Laboratory, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio, USA, 2000.
- [32] USEPA (U.S. Environmental Protection Agency), "Solid waste and emergency response glossary - Bioaccumulation," U.S. Environmental Protection Agency, 29 Haziran 2010.
- [33] G. Kirat ve N. Aydın, "Geochemical properties of soils surrounding the Deliklitaş Au deposit, Turkey," *Journal of African Earth Sciences*, cilt 120, ss. 173–180, 2016.
- [34] B. Yavuz Pehlivanlı, Ş. Koç, E. Ergin, L. Açık, M. Vural, Y. K. Kadioğlu, ve diğerleri, "Çayırhan (Ankara) bölgesindeki bitki çeşitliliği ve bölgedeki organik maddece zengin kayalarla olan jeokimyasal ilişkisi," IV. Ulusal Jeokimya Sempozyumu, ss. 107–108, 26–28 Mayıs 2010, Elazığ, Türkiye.
- [35] A. Vural, "Assessment of heavy metal accumulation in the roadside soil and plants of Robinia pseudoacacia, in Gümüşhane, Northeastern Turkey," *Ekoloji*, cilt 22, sayı 89, ss. 1–10, 2013. Erişim: <https://doi.org/10.5053/ekoloji.2013.891>.
- [36] A. Vural, "Trace/heavy metal accumulation in soil and in the shoots of acacia tree, Gümüşhane-Turkey," *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, cilt 148, ss. 85–106, 2014.

- [37] A. Vural, "An evaluation of elemental enrichment in rocks: in the case of Kısacık and its neighborhood (Ayvacık, Çanakkale/Türkiye)," **Journal of Geography and Cartography**, cilt 6, sayı 1, ss. 1–20, 2023. Erişim: <https://doi.org/10.24294/jgc.v6i1.1850>.
- [38] A. Vural, A. Gundogdu, I. Akpınar ve C. Baltacı, "Environmental impact of Gümüşhane City, Turkey, waste area in terms of heavy metal pollution," **Natural Hazards**, cilt 88, sayı 2, ss. 867–890, 2017. Erişim: <https://doi.org/10.1007/s11069-017-2896-1>.
- [39] N. Mganga, M. L. K. Manoko ve Z. K. Rulangaranga, "Classification of plants according to their heavy metal content around North Mara Gold Mine, Tanzania: Implication for phytoremediation," **Tanzania Journal of Science**, cilt 37, ss. 109–119, 2011.
- [40] G. Kirat, "Pb–Zn–Cd accumulator plants grown around the Görgü Pb–Zn Mine, Yesilyurt-Malatya, Turkey," **Bulletin of the Mineral Research and Exploration**, cilt 155, ss. 58–59, 2017.
- [41] A. Kabata-Pendias, **Trace Elements of Soils and Plants**, 4. baskı, 548 s., CRC Press, 2010. Erişim: <https://doi.org/10.1201/b10158>.
- [42] A. Boşgelmez, İ. Boşgelmez, S. Savaşçı ve N. Paslı, **Ekoloji – II (Toprak)**, Başkent Klişe Matbaacılık, Kızılay-Ankara, 2001.
- [43] D. T. Gardiner ve R. W. Miller, **Soils in Our Environment**, 11. baskı, Pearson/Prentice Hall, Upper Saddle Hill, New Jersey, ABD, 2008..
- [44] A. McCauley, C. Jones ve J. Jacobsen, **Nutrient Management**, Nutrient Management Module 9, Montana State University Extension Service, Yayın No. 4449-9, ss. 1–16.
- [45] G. Kirat, "Investigation of the Biogeochemical Anomalies of **Euphorbia cyparissias** Plant in Gümüşhacıköy – Amasya Pb–Zn–Ag Deposits, Turkey," **Indian Journal of Forensic Medicine and Pathology**, özel sayı, cilt 13, sayı 1, 2020. Erişim: <http://dx.doi.org/10.21088/ijfmp.0974.3383.13120.22>.
- [45] E. J. Plaster, **Soil Science and Management**, 2. baskı, Delmar Publishers Inc., Albany, New York, ABD, 1992..
- [46] M. Aktaş ve A. Ateş, **Bitkilerde Beslenme Bozuklukları: Nedenleri ve Tanınmaları**, Nurol Matbaacılık A.Ş., Ostim, Ankara, 1998.
- [47] B. Kacar ve V. Katkat, **Bitki Besleme**, 5. Baskı, Nobel Yayın Dağıtım Tic. Ltd. Şti., Kızılay, Ankara, 2010.
- [48] İ. Bolat ve Ö. Kara, "Bitki Besin Elementleri: Kaynakları, İşlevleri, Eksik ve Fazlalıkları," **Bartın Orman Fakültesi Dergisi**, cilt 19, sayı 1, ss. 218-228, 2017. DOI: 10.24011/barofd.251313.
- [49] N. Güzel, K. Y. Gülüt ve G. Büyük, **Toprak Verimliliği ve Gübreler**, Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Genel Yayın No. 246, Ders Kitapları Yayın No. A-80, Adana, 2004.
- [50] M. Napoli, S. Cecchi, C. Grassi, A. Baldi, C. A. Zanchi ve S. Orlandini, "Phytoextraction of copper from a contaminated soil using arable and vegetable crops," **Chemosphere**, cilt 219, ss. 122-129, 2019. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2018.12.017.
- [51] S. M. Ghaderian ve A. A. G. Ravandi, "Accumulation of copper and other heavy metals by plants growing on Sarcheshmeh copper mining area, Iran," **Journal of Geochemical Exploration**, cilt 123, ss. 25-32, 2012.
- [52] R. M. Cornell ve U. Schwertmann, **The Iron Oxides**, 2nd ed., Wiley-VCH, Weinheim, 2003.
- [53] H. Özbek, Z. Kaya, M. Gök ve H. Kaptan, **Toprak Bilimi**, 5. Baskı, Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Genel Yayın No. 73, Ders Kitapları Yayın No. A–16, Adana, 2001.
- [54] M. D. Kantarcı, **Toprak İlimi**, İÜ Toprak İlimi ve Ekoloji Anabilim Dalı, İÜ Yayın No. 4261, Orman Fakültesi Yayın No. 462, İstanbul, 420 s., 2000.
- [55] G. Porkodi, P. Ramamoorthi, and M. D. I. Mansingh, "Effects of Iron on Crops and Availability of Iron in Soil: A Review," **Biological Forum – An International Journal**, vol. 15, no. 6, pp. 71–78, 2023.

- [56] M. J. Malakouti and M. H. Tehrani, *Effect of Micronutrients on the Yield and Quality of Agricultural Products: Micronutrients with Macro-Effects*, Tarbiat Modares University Publication, Iran, 1999.
- [57] E. E. Schulte and K. A. Kelling, *Soil and Applied Manganese. Understanding Plant Nutrients*, A2526, 1999..
- [58] S. R. Mousavi, M. Shamsavari, and M. Rezaei, "A General Overview on Manganese (Mn) Importance for Crops Production," *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, vol. 5, no. 9, pp. 1799–1803, 2011.
- [59] P. H. Brown, "Ni," in *Handbook of Plant Nutrition*, A. V. Barker and D. J. Pilbeam, Eds. Boca Raton, FL: CRC Press, 2006, pp. 329–350.
- [60] D. A. Cataldo, T. R. Garland, R. E. Wildung, and H. Drucker, "Ni in plants. II. Distribution and chemical form in soybean plants," *Plant Physiol.* , vol. 62, pp. 566–570, 1978.
- [61] N. P. Bhatia, K. B. Walsh, and A. J. M. Baker, "Detection and quantification of ligands involved in Ni detoxification in a herbaceous Ni hyperaccumulator *Stackhousia tryonii* Bailey," *J. Exp. Bot.* , vol. 56, pp. 1343–1349, 2005.
- [62] M. A. Lopez and S. Magnitskiy, "Nickel: The last of the essential micronutrients," *Agron. Colomb.*, vol. 29, pp. 49–56, 2011.
- [63] W. S. Michael and S. C. Beckg, "Manganese deficiency in pecan," *Horticulture Science*, vol. 36, no. 6, pp. 1075–1076, 2001..
- [64] S. Sönmez, M. Kaplan, N. K. Sönmez, H. Kaya, and İ. Uz, "High level of copper application to soil and leaves reduce the growth and yield of tomato plants," *Sci. Agric. Piracicaba, Braz.*, vol. 63, no. 3, pp. 213–218, 2006.
- [65] G. Kırat, "Investigation of soil pollution with pollution parameters (Erzurum-Moryayla)," *Intern. Sci. Vocat. J. (ISVOS Journal)*, vol. 7, no. 1, pp. 1–8, 2023. DOI: 10.47897/Bilmes.1125279.

Quantum Mechanical Calculations and Molecular Docking Simulation Studies of *N*-(5-chloro-2-oxobenzyl)-2-hydroxy-5-methylanilinium Compound

Cem Cüneyt Ersanlı ^{a,1}, Sultan Başak ^b

^a Sinop University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Physics, Sinop, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-8113-5091

^b Sinop University, Institute of Postgraduate Education, Department of Interdisciplinary Quantum Systems Modelling, Sinop, Türkiye
ORCID ID: 0000-0003-0541-3667

Abstract

Schiff bases were first synthesized by Hugo Schiff in 1864. The formation of a carbon-nitrogen double bond is what gives specificity to Schiff bases. This double bond is referred to as an imine (R-N=C-R). This double bond contributes to the high activity of Schiff bases, allowing for extensive research across various fields and disciplines. Neurodegenerative diseases are conditions that continuously and irreversibly affect neurons and nerve cells in the central nervous system, and they are among the leading causes of death in developed countries. Alzheimer's disease, which is a type of neurodegenerative disease, currently has about 5 million new cases each year, and there is no definitive and complete treatment method for it. Individuals with this disease exhibit symptoms such as memory loss, inability to form new memories, and slowing of cognitive functions. Additionally, these patients show imbalances in neurotransmitters responsible for facilitating neural transmission between neurons, particularly an irreversible loss of cholinergic neurons, which are a significant part of the central nervous system. Disruption of homeostasis in the mechanisms of acetylcholinesterase (AChE) and monoamine oxidase (MAO) neurotransmitters is indicated among the causes of Alzheimer's disease. In this study; the physical, chemical and biological properties of *N*-(5-chloro-2-oxobenzyl)-2-hydroxy-5-methylanilinium molecule were investigated by quantum mechanical calculation methods. In support of the X-ray results, the geometrical parameters (bond lengths, and bond angles) and quantum chemical properties of the title compound were theoretically realized by the density functional theory method with B3LYP/6-311G(d,p) basis set using Gaussian 03W program. Herein, Frontier orbitals, molecular electrostatic potential surface, nonlinear optical properties, natural bond orbital analysis, Mulliken charges, and Hirshfeld surface analysis of the title compound were also calculated to explain the intermolecular interactions. Additionally, molecular docking results were performed with AChE and MAO-B enzymes obtained from the Protein Data Bank (PDB). All these studies have shown that the structure has high stability and forms a strong bond with the relevant enzymes.

Keywords: "Quantum mechanical calculations, Molecular docking, Alzheimer's disease, AChE, MOA-B."

1. Giriş

Schiff bazları ilk olarak Hugo Schiff tarafından 1864 tarihinde sentezlenmiştir [1]. Bir pirimer aminle, bir aldehit veya ketonun kondenzasyon tepkimesi sonucunda Schiff bazları oluşmaktadır. Primer amin nolekülü ile bir aldehit tepkime veriyorsa tepkime sonucunda oluşan yapı aldimin olarak adlandırılırken, bir keton ile tepkime veriyorsa yapı ketimin adını almaktadır. Çok zayıf olan bu karbonil bileşikleri ile primer aminlerin tepkimesi Schiff bazlarına spesiflik kazandıran karbon azot çift bağının oluşumunu sağlamaktadır. Schiff bazlarının yapısında bulunan bu çift bağ imin (R-N=C-R) olarak adlandırılır. Burada bulunan R grubu alkil, aril gibi yapılardan oluşabilmektedir. Bu çift bağ, Schiff bazlarının yüksek aktiviteye sahip olmasına, geniş spektrumda araştırılmasına ve disiplinlerarası bir yaklaşımla değerlendirilmesini sağlamaktadır. İmin yapısında bulunan elektrofilik karbon atomu ve nükleofilik nitrojen atomu, başka nükoefil ve elektrofil atom veya moleküller için yapıya bağlanma olanağı sunmaktadır [2]. Yapıdaki bu bağlanma olanağı hastalıkların tedavisinde ve çeşitli mekanizmaların inhibe edilmesini de sağlamaktadır. Schiff bazları nifuroksazid, tiasetazon ve dantrolen gibi ilaçların yapısında kullanılmaktadır [3]. Nifuroksazid, sindirim sistemi enfeksiyonlarına karşı kullanılan bir antibiyotik olarak, tiasetazon tüberküloz da enfeksiyon giderici olarak ve dantrolen iskelet kasları rahatlatıcısı olarak kullanılmaktadır. Schiff bazları yalnızca tıp ve eczacılık alanında değil birçok alanda da kullanılan bileşikler arasındadır. Endüstri, çevre bilimi, tarım malzeme bilimi gibi birçok alanda Schiff bazlarının sahip olduğu fiziksel ve kimyasal özelliklerden fazlasıyla yararlanılmaktadır. Schiff bazlarının birçok türevi vardır. Bu türevlerden biri de salisilaldiminin türevleridir. Salisilaldiminler, primer amin ve salisilik aldehitin kondenzasyon tepkimesi sonucunda oluşurlar. Salisilaldiminler yüksek fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip olmalarının dışında önemli biyolojik özelliklere de sahiptirler.

¹ Corresponding Author
E-mail Address: ccersanli@sinop.edu.tr

Antikanser [4], antibakteriyel ve anti inflammatuar [5] etkileri bu yapıların ve farklı atomlarla yaptıkları komplekslerinin araştırılmasını sağlamıştır [6].

Nörodejeneratif hastalıklar, merkezi sinir sisteminde bulunan nöronları ve sinir hücrelerini sürekli ilerleyen ve geri döndürülemez şekilde etkileyen hastalıklardır ve bu hastalıklar gelişmiş ülkelerdeki ölümlerin temel sebepleri arasındadır [7]. Bu hastalıkların her biri kendi mekanizmalarına sahip olsalarda ortaya çıkmalarını etkilediği tahmin edilen mekanizmalar benzerlik göstermektedir. Nörodejeneratif hastalıklar arasında bulunan ve ilk kez 1901 yılında Dr. Alois Alzaymır tarafından bir hastasının sahip olduğu semptomları tanımlamasıyla keşfedilen Alzaymır hastalığı (AH) genellikle yaşlı nüfusu etkilemektedir [8]. Küresel anlamda, her yıl 5 milyon yeni AH hastası tespit edilmekte ve 2050 yılına kadar dünya genelinde her 85 kişiden birinin AH'ye sahip olabileceği öngörülmektedir [9]. AH hastalığına sahip bireyler hafıza kaybı, yeni anı oluşturmama ve bilişsel-zihinsel işlevlerin yavaşlaması gibi semptomlar göstermektedirler. Aynı zamanda bu hastalarda, nöronlar arasında sinirsel iletimi sağlamakla görevli nörotransmitterlerde dengesizlik ve özellikle merkezi sinir sisteminin önemli bir parçası olan kolinerjik nöronların geri dönüşüm şekle kaybı görülmektedir [10]. Alzaymır hastalığının sebepleri konusunda farklı hipotezler mevcuttur, bu hipotezlerden biri de *kolinerjik* adı verilen hipotezdir [11]. Bu hipoteze göre asetilkolin (ACh), seviyesindeki azalmanın bilişsel bozukluklara ve bazı nörodejeneratif hastalıklara yol açtığı ifade edilir. ACh, beyin dahil olmak üzere merkezi sinir sisteminin birçok bölgesinde bulunur ve sinirsel iletimi sağlayan önemli bir nörotransmitterdir. ACh'nin sentezlenmesi ve hidrolizi farklı mekanizmalar ve farklı enzimler ile gerçekleştirilmektedir. ACh, asetilkolin tranferaz enzimi tarafından sentezlenirken, asetilkolinesteraz (AChE) enzimi tarafından hidroliz edilir. Dolayısıyla ACh miktarının azaltılması, AChE tarafından sağlanmaktadır. Bu hidrolizin yüksek, ACh ifadenmesinin düşük olması sinir hücreleri arasındaki iletişimi zayıflatır. Bu durum da Alzaymır hastalığının sebepleri arasında değerlendirilmesine yol açar [12]. AChE dışında, AH ile ilişkisi olan bir başka enzim de monoamin oksidaz (MAO)'dır. MAO, MAO-A ve MAO-B olmak üzere iki farklı izoforma sahiptir. Bu izoformlar yapı bakımından benzerlik gösterebilirler substrat spesifikliği ve doku dağılımı bakımından farklılık göstermektedirler [13]. Yapılan çalışmalar MAO-A'yı kıyasla, MAO-B izoformunun beyinde daha fazla miktarda bulunduğunu göstermiştir [14]. Artmış MAO-B aktivitesi bazı nörotoksinlerin ve amiloid β protein kalıntılarının nöron hücreleri arasında birikmesine yol açmaktadır Bu da, sinirsel iletimin yavaşlamasına ve engellenmesine sebep olmaktadır. Azalmış sinirsel iletim de alzaymır, demans gibi nörodejeneratif hastalıkların ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. Gelişen teknolojiyle nörodejeneratif hastalıkların tedavisi için kullanılan AChE ve MAO-B inhibitörleri bulunsada henüz tam ve kesin bir tedavi yöntemi yoktur.

Bu çalışma kapsamında; incelenen Schiff bazı molekülünün sınır moleküler orbitalleri, doğrusal olmayan optik özellikleri, moleküler elektrostatik potansiyel haritası, Mulliken yük dağılımı ve molekül içindeki yük transferine ilişkin bilgileri aydınlatmak için doğal bağ orbitali analizi yapılmıştır. Aynı zamanda bileşiğin moleküller arası etkileşimleri Hirshfeld yüzey analizi ile belirlenmiştir. Bunlara ilaveten AChE ve MAO-B enzimleri ile moleküler yerleştirme simülasyonu gerçekleştirilerek bu enzimler üzerine etkililiği incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

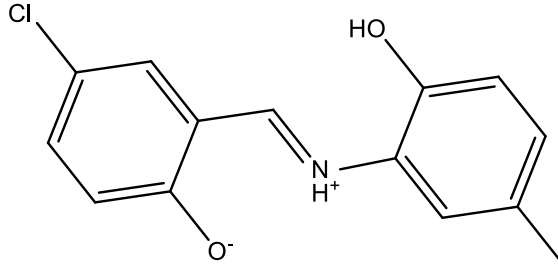
Bu teorik çalışma; *N*-(5-klor-2-oxiobenzilden)-2hidroksi-5-metilanilin [15] molekülünün fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin aydınlatılması için hazırlanmıştır. Bu çalışmada; bileşiğin harmonik osilatör ölçümü (HOMA) değeri, HOMO-LUMO sınır moleküler orbitalleri, moleküler elektrostatik potansiyeli (MEP), doğrusal olmayan optik özellikleri (NLO), doğal bağ orbitali (NBO) analizi ve Mulliken yükleri incelenmiştir. Tüm teorik hesaplamalar Gaussian 03W [16] programında, bu hesaplama paketinde uygulanan yoğunluk fonksiyonel teorisi (YFT) metodu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kuantum-kimyasal hesaplamalar için Becke'nin değişim [17] ve Lee, Yang ve Parr'ın korelasyon [18] fonksiyonellerini 6-311G(d,p) baz seti [19] ile birleştiren hibrit fonksiyonel B3LYP [20] kullanılmıştır. Elde edilen sonuçları görselleştirmek için GaussView 4.1.2 [21] programı kullanılmıştır. Tüm YFT hesaplamaları gaz fazında optimize edilmiş moleküler yapı için gerçekleştirilmiştir. Bileşiğin moleküllerarası etkileşimleri CrystalExplorer 17.5 programı [22] yardımıyla Hirshfeld yüzey analizi [23-24] yapılarak belirlenmiştir. Hirshfeld yüzeyi [22,25] ve 2D parmak izi grafikleri [24] bileşiklerin kristallografik bilgi dosyası (CIF) kullanılarak elde edilmiştir. Bileşiğe ait enerji çerçeveleri hesaplanırken B3LYP/6-311G(d,p) baz seti kullanılmıştır. Bileşiğin asetilkolinesteraz (PDB ID) ve monoamin oksidaz B (PDB ID:1QTI/PDB ID:2V5Z) [26-27] ile moleküler yerleştirme simülasyonu için Autodock Vina 1.5.6 programı kullanılmıştır [28]. Moleküler yerleştirme verilerinin görselleştirilmesi için Biovia programı [29] kullanılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışmalar

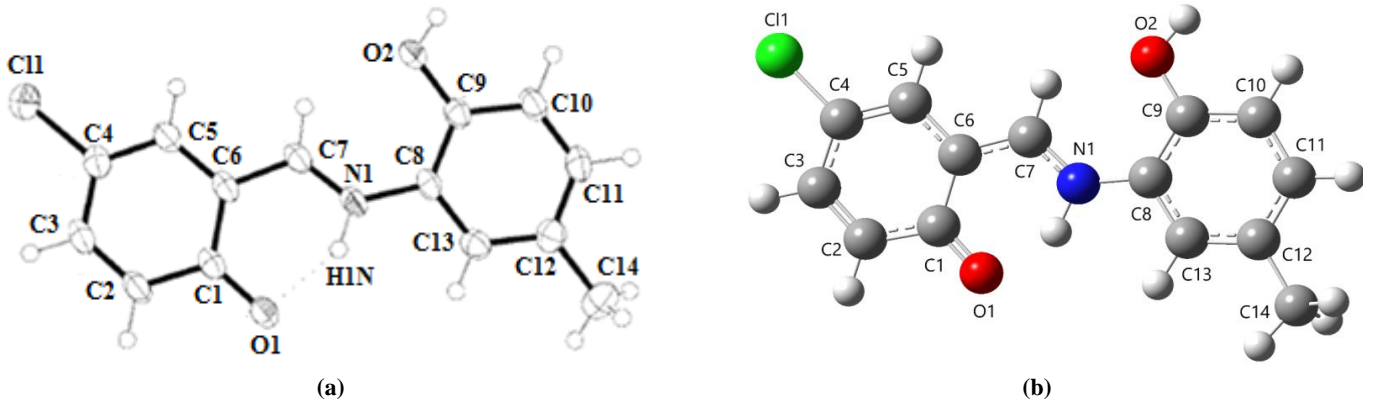
3.1. Hesaplamalı Moleküler Geometri

Kimyasal diyagramı Şekil 1'de verilen molekül neredeyse düzlemsel olup aromatik halkalar arasındaki açı deneysel $9.51(6)^\circ$ [15] teorik ise 10.04° olarak hesaplanmıştır. Schiff bazları genel olarak iki farklı tautomerik forma sahip olabilir ve bu tautomerik formlar enol-imin ve keto-imin tautomerik formları olarak adlandırılmaktadır. İncelenen yapının hangi tautomerik forma sahip olduğunu belirlemek için birden fazla yöntem vardır. Bunlardan biri de imin grubunda bulunan azot atomunun karbon atomu

dışında hangi atomla bağ yaptığının incelenmesi yöntemidir. Bir S(6) halka motifi oluşturan molekül içi N-H...O hidrojen bağı sergileyen (Şekil 2.a) bileşiğe ait optimizasyon sonucu elde edilen geometri Şekil 2.b'de sunulmuştur. Bu görselde imin bağında yer alan azot atomunun hidrojen atomu ile bağ yapmış olduğu açıkça görülmektedir. Bu bağlamda bileşiğin enol-imin tautomerik formuna sahip olduğu söylenebilmektedir [15].



Şekil 1. Bileşiğe ait kimyasal diyagram.



Şekil 2. a) Bileşiğin moleküler yapısı (atom etiketleme şeması ve %50 olasılık düzeyinde yer değiştirme elipsoidleri) [15]. b) Bileşiğe ait optimizasyon sonucu elde edilen geometri.

Tablo 1. Deneysel ve hesaplanmış bağ uzunlukları ve bağ açıları (Å, °).

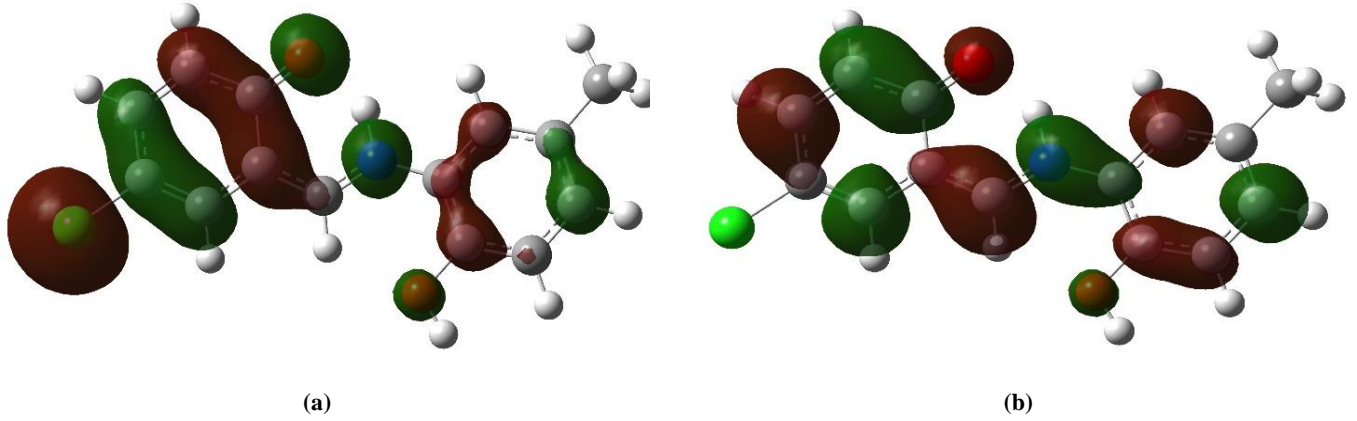
BAG UZUNLUĞU VE BAG AÇILARI	DENEYSEL [15]	HESAPLANMIŞ
C1-O1	1.303 (18)	1.261
C4-Cl1	1.747 (17)	1.764
C7-N1	1.302 (3)	1.331
C8-N1	1.419 (2)	1.402
C9-O2	1.360 (2)	1.371
O1-C1-C2	121.37 (13)	121.96
O1-C1-C6	121.86 (12)	122.20
C5-C4-Cl1	120.75 (12)	120.56
C3-C4-Cl1	118.77 (12)	118.61
N1-C7-C6	121.05 (14)	121.28
C9-C8-N1	121.37 (13)	125.01
C13-C8-N1	115.96 (13)	116.57
O2-C9-C8	121.34 (13)	118.98
O2-C9-C10	121.34 (13)	121.76
C7-N1-C8	129.67 (13)	131.13

HOMA değeri, bir yapının aromatikliği hakkında bilgi sağlamaktadır. Bu kavram ilk olarak Hoffman tarafından rapor edilmiştir. HOMA, bir yapının aromatikliği hakkında araştırmacılara detaylı bilgi sağlamaktadır ve 0 ile 1 arasında farklı değerlere sahip olabilmektedir. Bire yakın değerler halkanın yüksek aromatikliğe sahip olduğunu gösterir [30]. Bileşiğin HOMA değerleri C1-C6 aromatik halkası için 0.842, C8-C13 aromatik halkası için ise 0.999 olarak hesaplanmıştır. Bileşiğin sahip olduğu bu değerler göz önüne alındığında yapıda delocalize π elektronlarına sahip aromatik halkaların bulunduğu söylenebilmektedir. Başlangıç atomik koordinatları genellikle deneysel X-ışını kırınımı sonuçlarından veya bir veri tabanından alınabilir. Bu çalışmada, başlangıç atomik koordinatlarını belirlemek ve giriş yapısını optimize etmek için deneysel X-ışını kırınımı verileri kullanılarak GaussView 4.1.2. moleküler görselleştirme programı [21] ve Gaussian 03W programı [16] yardımıyla optimize edilerek geometrik parametreler ve diğer moleküler özellikler hesaplanmıştır. Bileşiğe ait deneysel [15] ve hesaplanmış bağ uzunlukları ve bağ açılarına ait parametreler Tablo 1'de sunulmuştur. C1-O1 bağ uzunluğu 1.303 (18) Å deneysel [15] ve teorik 1.261 Å, çift bağ ve destekleyici keto-amin tautomeri ile uyumludur. C9-O2 (1.360 (2) deneysel [15] ve teorik 1.371 Å) bağ uzunluğu, benzer bileşikler için bildirilen değerlerle C1-O1 [1.296 (6) Å], C9-O2 [1.360 (7) Å] [31], C1-O1 [1.298 (6) Å], C9-O2 [1.346 (2) Å] [32] uyumlu olduğu görülmektedir. C7-N1 bağ uzunluğu ise deneysel 1.302 (3) Å [15],

teroi olarak ise 1.331 Å olarak hesaplanmıştır. Keto-amin formundaki benzer yapılarda ise C-N bağ uzunluğu 1.289 (5) Å [33], 1.291 (2) Å [34] ve 1.291 (1) Å [35] olarak belirlendiği görülmüştür. Bileşiğe ait deneysel [15] ve hesaplanmış bağ uzunlukları ve bağ açlarına ait parametreler Tablo 1’de sunulmuş olup literatürde daha önceden çalışılmış benzer yapılarla hesaplanmış bağ uzunlukları ve bağ açlarının kısmen uyumlu olduğu görülmüştür.

3.2. Sınır Moleküler Orbitaleri HOMO ve LUMO

Moleküler bir yapının kimyasal kararlılığını, optik özelliklerinin, elektrofilik ve nükleofilik saldırı bölgelerinin ve bu bölgelerde lokalize olmuş atomların belirlenmesi için sıklıkla kullanılan yöntemlerden biri de sınır moleküler orbitalleridir. HOMO, en yüksek enerji seviyesinde işgal edilen orbital olarak tanımlanırken LUMO ise en düşük enerji seviyesinde işgal edilmemiş orbital olarak tanımlanmaktadır. Bileşiğe ait sınır moleküler orbitalleri Şekil 3’de sunulmuştur.



Şekil 3. (a) HOMO ve (b) LUMO.

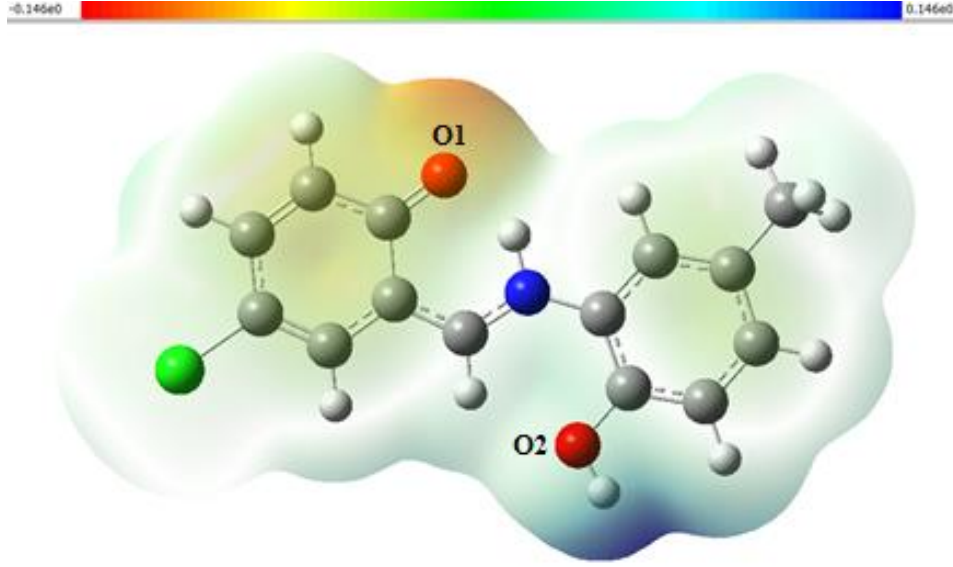
Şekil 3 incelendiğinde kırmızı ve yeşil renkle sınıflandırılmış bölgelerin varlığı gözlemlenmektedir. Renkle sınıflandırmada ki temel amaç bu bölgelerin negatifliğinin ve pozitifliğinin dolayısıyla elektrofilikliğin ve nükleofilikliğin belirlenmesidir. Yeşil renkli bölgeler nükleofilik atomların bulunduğu bölgelerken, kırmızı renkli bölgeler ise elektrofilik atomların bulunduğu bölgelerdir. Aynı zamanda sınır moleküler orbitaller arasındaki enerji farkı yapının kimyasal kararlılığı ve stabilitesi hakkında bilgi edinilmesini sağlamaktadır. Schiff bazları için imin grubu, yapının kararlılığı, stabilitesi ve biyolojik özelliklerinin belirlenmesinde önemlidir. Çünkü bu grupta bulunan azot atomu nükleofilik, karbon atomu ise elektrofiliktir. Molekülde bulunan elektrofilik ve nükleofilik atomlar başka nükleofilik ve elektrofilik atomların bağ oluşumuna katılmasını sağlamaktadır. Şekil 3.a ve Şekil 3.b’de imin grubu incelendiğinde N1 atomunun yeşil renkli olduğu görülebilmektedir. Azot atomunun nükleofilik özellikte olduğunu dolayısıyla yapıda bu atomun pozitif bölge olarak değerlendirilebileceği anlaşılmaktadır. Bu bağlamda; bu bölgenin nükleofilik saldırı bölgesi olduğu da söylenebilmektedir. İmin grubunda bulunan C7 atomu incelendiğinde, karbon atomunun bulunduğu bölgenin kırmızı renkli olduğu görülmektedir. Bu bölge imin grubundaki elektrofilik bölgeyi dolayısıyla da negatif bölgeyi temsil etmektedir. Aynı zamanda bu bölge başka elektrofilik atomların bağlanması için de uygun bir bölge olarak değerlendirilmektedir. Tablo 2, bileşiğe ait HOMO-LUMO elektronik parametrelerini içermektedir. Burada ΔE değeri HOMO-LUMO arasındaki enerji farkından hesaplanır ve araştırmacılara bant aralığı hakkında yorum yapmalarına olanak sağlar. Bant aralığı bir yapının optik özelliklerinin ve iletkenliğinin belirlenmesini sağlamaktadır. Bileşiğe ait ΔE değeri yaklaşık 1.8 eV değerine sahiptir. Bu da yapının yüksek iletkenliğe ve optik özelliklere sahip olduğunu göstermektedir.

Tablo 2. HOMO-LUMO elektronik parametreleri.

HOMO (eV)	-7.5318
LUMO (eV)	-5.7143
ΔE (eV)	1.8175

3.3. Moleküler Elektrostatik Potansiyel (MEP) Haritası

Moleküler elektrostatik potansiyel (MEP), hem hidrojen bağlanma bölgelerinin açıklanması için hem de yapı üzerinde bulunun elektrofilik ve nükleofilik bölgelerin aydınlatılması için kullanılır. MEP özellikle görselleştirildiğinde, yapının yerel polaritesi hakkında araştırmacılara önemli bilgiler sunmaktadır [36]. Bileşiğin MEP haritası Şekil 4’de sunulmuştur.



Şekil 4. MEP haritası.

Şekil 4 incelendiğinde kırmızı, mavi ve yeşil renklerle bir tür sınıflandırma yapıldığı açık şekilde görülebilmektedir. Bu sınıflandırma yerel polariteyi dolayısıyla pozitif ve negatif bölgeleri belirlemektedir. Harita üzerinde kırmızı renkli olan bölgeler en negatif bölgeyi dolayısıyla elektrofilik atomların bulunduğu bölgeyi belirlerken, mavi renkli kısımlar ise en pozitif bölgeyi dolayısıyla nükleofilik bölgeleri temsil eder. Elektrofilik atomlar başka elektrofilik atomların saldırısı için uygun bölgelerken, nükleofilik atomlar başka nükleofilik atomların saldırısı için uygundur. Bileşiğe ait haritada O1 atomunun bulunduğu bölge elektrofilik bölge iken O2 atomuna bağlı olan hidrojen atomunun bulunduğu bölge nükleofilik bölge olarak görünmektedir.

3.4. Doğrusal Olmayan Optik (NLO) Özellikler

Doğrusal olmayan optik (NLO) özellikler birçok disiplinlerarası yaklaşımda bir yapının kararlılığı ve optik özellikleri hakkında yorum yaparken sıklıkla kullanılır [37]. NLO hesaplamalarından elde edilen kutuplanabilirlik ve hiperkutuplanabilirlik yapıya ait bu özelliklerin belirlenebilmesi için önemli parametrelerdir. Bir yapıda kutuplanabilirliğe ve hiperkutuplanabilirliğe en fazla katkıyı sağlayan parametre, yapıda bulunan valans elektronların varlığıdır [38]. Dipol moment, kutuplanabilirlik ve hiperkutuplanabilirlik değerleri hesaplanırken literatürde bulunan ürenin bu değerleri referans alınmaktadır. Üreye ait dipol moment, kutuplanabilirlik ve hiperkutuplanabilirlik değerleri sırasıyla 1.3732 D, 3.8312 Å³ ve 3.7289 x 10⁻³¹ cm⁵ e.s.u.⁻¹ olarak hesaplanmıştır [39]. Tablo 3, moleküle ait hesaplanan dipol moment (μ), kutuplanabilirlik (α) ve hiperkutuplanabilirlik (β) değerlerini sunmaktadır.

Tablo 3. Dipol moment (μ), kutuplanabilirlik (α) ve hiperkutuplanabilirlik (β) değerleri (e.s.u.).

μ_x	5.8058	β_{xxx}	-9.7069x10 ⁻³¹
μ_y	-3.1258	β_{xxy}	1.0879x10 ⁻³⁰
μ_z	0.0332	β_{xyy}	-1.1716x10 ⁻³¹
		β_{yyy}	9.254610 ⁻³¹
α_{xx}	3.3108	β_{xxz}	-9.6626x10 ⁻³²
α_{xy}	-8.1971	β_{xyz}	5.1475x10 ⁻³²
α_{yy}	1.6819	β_{yyz}	-6.4127x10 ⁻³²
α_{xz}	1.6186	β_{xzz}	3.7217x10 ⁻³¹
α_{yz}	1.4932	β_{yzz}	9.5116x10 ⁻³²
α_{zz}	6.5375	β_{zzz}	1.4482x10 ⁻³¹

Tablo 4, bileşiğe ait toplam dipol moment, ortalama doğrusal kutuplanabilirlik anizotropisi ve hiperkutuplanabilirlik değerlerini içermektedir.

Tablo 4. Bileşiğe ait toplam dipol moment, ortalama doğrusal kutuplanabilirlik, kutuplanabilirlik anizotropisi ve hiperkutuplanabilirlik değerleri.

Dipol moment (μ), (D)	6.5936
Ortalama Doğrusal Kutuplanabilirlik (α), (Å ³)	22.8627
Kutuplanabilirlik Anizotropisi ($\Delta\alpha$), (Å ³)	80.8073
Hiperkutuplanabilirlik (β), (cm ⁵ e.s.u. ⁻¹)	7.7497x10 ⁻³⁰

Tablo 4’de bulunan dipol moment değeri üreden 4.8 kat, ortalama doğrusal kutuplanabilirlik değeri üreden yaklaşık 6 kat daha fazla olduğu görülmektedir. Yine Tablo 4’de verilen bileşiğe ait hiperkutuplanabilirlik değerinin ise ürenin bu değerinden yaklaşık 20 kat daha fazla olduğu görülmektedir. Bu sonuçlardan bileşiğin iyi bir doğrusal olmayan optik malzeme olarak kullanılabilceği söylenebilir.

3.5. Doğal Bağ Orbitali (NBO) Analizi

Doğal bağ orbital (NBO) analizi ilk olarak Weinhold tarafından geliştirilmiştir [40]. NBO’da ki temel fikir, moleküler bir ortamda bulunan atomik orbitallerin sahip oldukları şekillerin belirlenmesidir. Bunu yaparken tek elektron yoğunluk matrisi kullanılır ve atomlar arasında bulunan elektron yoğunluğu ile bağların oluşturulması sağlanır [41]. Dolayısıyla bir bağın oluşumu ve bu bağ da yer alan alıcı ve verici atomların belirlenmesi olanağını sağladığı için NBO analizi, kuantum kimyasında önemli bir yere sahiptir. NBO analizi ile elde edilen veriler Tablo 5’de sunulmuştur.

Tablo 5. Bileşiğe ait NBO analizi.

Verici (i)	Alıcı (j)	E(2) (kcalmol ⁻¹)	$\epsilon(j) - \epsilon(i)$ (a.u)	F(i,j) (a.u)
BD(2) C2-C3	BD* (2) C1-O1	26.38	0.27	0.080
BD(2) C2-C3	BD* (2) C4-C5	16.13	0.28	0.062
BD(2) C4-C5	BD* (2) C2-C3	19.48	0.32	0.070
BD(2) C8-C9	BD* (2) C10-C11	18.36	0.30	0.067
BD(2) C8-C9	BD* (2) C12-C13	18.55	0.31	0.069
BD(2) C10-C11	BD* (2) C8-C9	21.00	0.27	0.070
BD(2) C10-C11	BD* (2) C12-C13	19.04	0.30	0.068
BD(2) C12-C13	BD* (2) C8-C9	20.92	0.26	0.068
BD(2) C12-C13	BD* (2) C10-C11	21.98	0.28	0.070

Tablo 5’de yer alan veriler Fock matrisinin ikinci dereceden pertürbasyon analizi [42] ile elde edilmiş olup tabloya 15 kcalmol⁻¹ ve üzerinde stabilizasyon enerjisine sahip olan alıcı ve verici atomlar eklenmiştir. Tablo 5 incelendiğinde molekül içi en yüksek hiperkonjugasyona sahip etkileşimin 26.38 kcalmol⁻¹ ile $\pi(C2-C3) \rightarrow \pi^*(C1-O1)$ etkileşimi olduğu görülmektedir. Enerji ile doğru orantılı olarak değişen ve bağın gücünü temsil eden bir diğer faktör ise F(i,j) değeridir. Yine tablodan $\pi(C2-C3) \rightarrow \pi^*(C1-O1)$ etkileşiminin 0.080 ile diğer etkileşimlerden daha yüksek F(i,j) değerine sahip olduğu görülebilir. Tablo incelendiğinde ikinci sırada güçlü hiperkonjugasyona sahip olan etkileşimin $\pi(C12-C13) \rightarrow \pi^*(C10-C11)$ etkileşimi olduğu görülmektedir. Güçlü hiperkonjugasyon molekül içi etkileşimin de kararlı olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla bahsedilen bu molekül içi etkileşimlerin kararlı olduğu söylenebilir.

3.6. Mulliken Yük Dağılımı

Mulliken yüklerinin belirlenmesi bir yapının kimyasal ve fiziksel özelliklerinin aydınlatılması için önemlidir. Mulliken yükleri, yapıda bulunan atomların pozitif veya negatif yüklerini belirlememizi dolayısıyla elektrofilik ve nükleofilik reaksiyonlarını belirlemek için kullanılır. Atomların Mulliken yükleri [43] *N*-(5-klor-2-oxiobenziliden)-2hidroksi-5-metilanilin [15] bileşiği için hesaplandı. Tüm nitrojen ve oksijen atomları moleküldeki diğer atomlardan daha fazla negatif yüke sahip olduğu görüldü. O1 ve O2 atomlarının yükleri sırasıyla -0.491314 ve -0.366124 ve N1 atomunun yükü ise -0.377277 olarak belirlendi. Bu atomların yanında C11, C2, C4, C6, C10, C11, C12, C13 ve C14 atomları da yine negatif yüke sahiptir. Çalışılan molekülde adı geçen elektronegatif atomlara bağlı C1, C3, C5, C7, C8 ve C9 karbon atomları pozitif atom yükü değerlerine sahiptir. Adı geçen karbon atomlarının pozitif yük değerleri sırasıyla 0.057361, 0.100753, 0.235096, 0.187877 ve 0.118389 a.u. olarak bulunmuştur. Bu nedenle, iki elektronegatif C2, C6 ve O1 atomuyla çevrili C1 atomu ve elektronegatif C6 ve N1 atomlarıyla çevrili C7 atomu en yüksek pozitif yük değerlerine sahiptir. Çünkü π bağı olan karbon atomları, yalnızca σ bağı olanlara kıyasla daha fazla pozitif yük yoğunluğuna sahiptir. Başka bir deyişle, sp^2 hibritlerine sahip karbon atomlarının yük yoğunluğu, sp^3 hibritlerine sahip karbon atomlarının yük yoğunluğundan daha büyüktür. Bu nedenle, molekül güçlü delokalizasyon enerjisi göstermektedir. Bileşikte tüm hidrojen atomlarının atom yükleri pozitif değerlere sahiptir. Negatif yükler incelendiğinde bu atomların elektrofilik reaksiyon gösterdikleri açıktır. Bu yük dağılımı sebebiyle molekülün dipol momenti 6.5936 D olur. Gaz fazındaki *N*-(5-klor-2-oxiobenziliden)-2hidroksi-5-metilanilin [15] bileşiğin B3LYP/6-311G(d,p) seviyesinde hesaplanan Mulliken yükleri [44] Tablo 6’da verilmiştir.

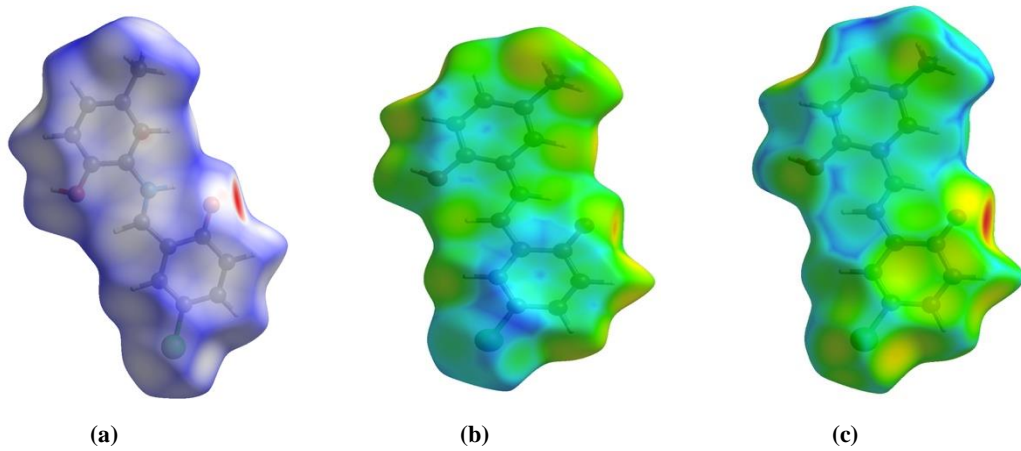
Tablo 6. Bileşiğe ait Mulliken yükleri (a.u.).

ATOM	YÜK	ATOM	YÜK
C1	0.237694	O1	-0.491314
C2	-0.086081	O2	-0.366124
C3	0.057361	N1	-0.377277
C4	-0.289399	H2	0.096548
C5	0.100753	H3	0.113561
C6	-0.259260	H5	0.096001
C7	0.235096	H7	0.112574
C8	0.187877	H10	0.092130
C9	0.118389	H11	0.089234
C10	-0.085747	H13	0.099894
C11	-0.052647	H14A	0.097655
C12	-0.168947	H14B	0.094592
C13	-0.031675	H14C	0.096419
C14	-0.140843	H1N	0.261652
Cl	-0.094104	H2O	0.255988

* Mulliken yük değeri negatif olan C atomları yeşil, Mulliken yük değeri en pozitif olan C atomları kahverengi, Mulliken yük değeri negatif olan N ve O atomları kırmızı, Mulliken yük değeri negatif olan Cl atomu açık mavi ve Mulliken yük değeri pozitif olan diğer C ve H atomları siyah renkte olacak şekilde tabloda gösterilmiştir.

3.7. Hirshfeld Yüzey Analizi

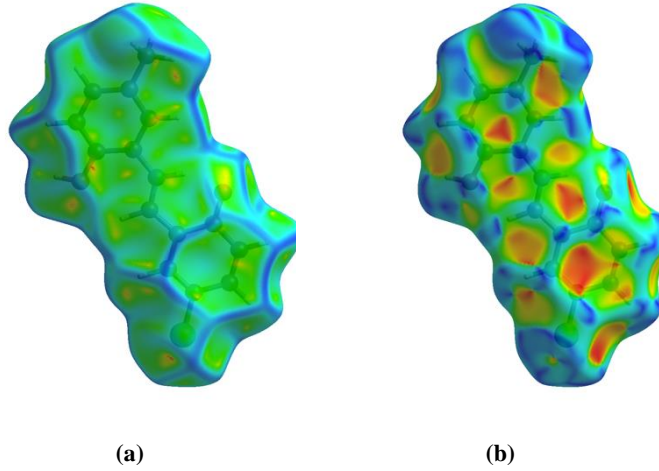
Hirshfeld yüzeyi, bir molekülü çevreler ve onu kristalin yapısında bulunann boşluktan ayırır [45]. Hirshfeld yüzey analizi moleküler bir yapının molekül içi etkileşimlerini incelemekteki kısa atom-atom etkileşimlerinin gücünü belirlemek ve kristal yapının 3D paketlenmesinin anlaşılmasını sağladığı için sıklıkla başvurulan bir analiz yöntemidir [46]. Moleküler bir yapıda bulunan kısa atom-atom etkileşimlerin ve moleküller arası etkileşimlerin doğasının aydınlatılması kristal paketlenmenin anlaşılabilmesi için önemli bir parametredir. Hirshfeld yüzey analizi sonucunda yapıya ait bu etkileşimleri açıklayan ve belirli özellik ve şekillere sahip haritalar elde edilir. Bu haritalar molekül içi etkileşimlerin belirlenmesini dolayısıyla da kristal paketlenmesinin doğasını aydınlatır. Hirshfeld yüzeyinde, moleküle ait karakteristik özelliklerin belirlenebilmesi için bazı nicelikler bulunmaktadır [47]. Bu nicelikler, d_{norm} , d_e ve d_i olarak tanımlanır ve molekül içi etkileşimlerin aydınlatılmasını ve yorumlanmasını sağlar. d_{norm} , Hirshfeld yüzeyinde normalleştirilmiş temas mesafesidir ve molekülün yüzeyinde bulunan her noktanın o noktaya en yakın bölgede konumlanmış olan atoma olan mesafesini normalleştirir. Bu sayede molekül içi etkileşimler belirlenmiş olur. Bahsedilen bu normalleştirilmenin yapılabilmesi için d_i ve d_e adı verilen nicelikler van der Waals yarıçapları ile kıyaslanır. d_e , Hirshfeld yüzeyinde bulunan belirli bir noktadan molekül dışındaki en yakın atoma olan mesafe olarak tanımlanır. d_i ise yine Hirshfeld yüzeyinde bulunan belirli bir noktadan molekülün dışındaki en yakın atoma olan mesafe olarak tanımlanabilir. Bu iki mesafenin van der Waals yarıçaplarıyla karşılaştırılarak yapılan görselleştirilmesi ile d_{norm} haritası elde edilmektedir. Bir d_{norm} haritasında mavi, kırmızı ve beyaz renklerle sınıflandırma yapılır. Kırmızı renkli olan bölgeler van der Waals yarıçapından daha kısa mesafedeki etkileşimlerin varlığını gösterirken, mavi renkli bölgeler ise van der Waals yarıçapından daha uzun mesafede bulunan etkileşimlerin varlığını gösterir. Beyaz bölgeler ise van der Waals yarıçapına eşit mesafedeki etkileşimleri göstermektedir. d_{norm} , d_i ve d_e Şekil 5'de sunulmuştur.



Şekil 5. Bileşiğe ait (a) d_{norm} , (b) d_i ve (c) d_e haritaları.

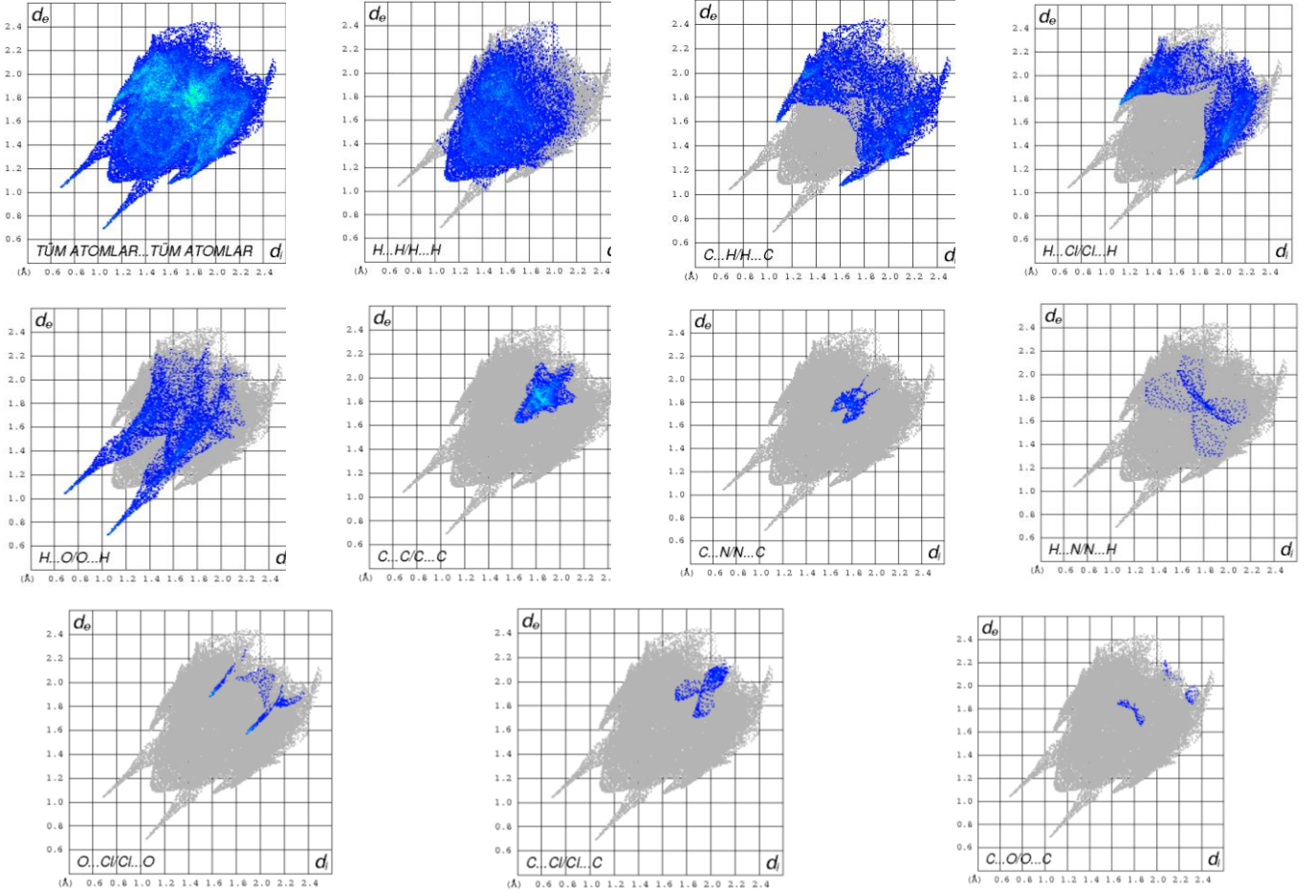
Bileşiğe ait d_{norm} mesafesi -0.6818 - 1.1753 a.u., d_i mesafesi 0.06879 - 2.5155 a.u., ve d_e mesafesi 0.6873 - 2.4702 a.u. olarak hesaplanmıştır. Şekil 5.a, d_{norm} eşlenmiş Hirshfeld yüzeyini göstermektedir. Moleküller arası etkileşimde bulunan karşılıklı temaslar, Hirshfeld yüzeyi üzerindeki kırmızı noktalarla gösterilmektedir [48]. Şekil 5.a incelendiğinde kırmızı bölgenin O1

atomu üzerinde lokalize olduğu görülmektedir. Bu bölge için moleküller arası etkileşimin van der Waals yarıçapından daha kısa mesafede gerçekleşeceği söylenir ve buna bağlı olarak bu bölge de güçlü molekül içi etkileşimlerin varlığından bahsedilir. Dolayısıyla bu bölgede gerçekleşen molekül içi etkileşimin güçlü olacağından bahsedebiliriz. Hem van der Waals yarıçapından daha kısa mesafede etkileşimin gerçekleşmesi hem de bu bölgenin Hirshfeld yüzeyindeki en negatif bölge olması bu sonucu doğurmaktadır. Bileşiğe ait d_i haritası Şekil 5.b'de gösterilmiştir. Harita incelenecek olursa bu haritada da görülen kırmızı noktanın O1 atomu üzerinde olduğu görülmektedir. d_i haritasında bulunan bu kırmızı noktanın büyüklüğü ve renginin koyuluk miktarı etkileşimin gücü ile doğru orantılı olarak değişmektedir. d_i haritasında bulunan mavi renkli bölgeler daha uzun mesafedeki molekül içi etkileşimleri göstermektedir. Bileşiğe ait harita incelendiğinde bu bölgenin C8-C13 benzen halkası üzerinde ve karbon atomlarının bulunduğu bölgede lokalize olduğu söylenebilir. Yeşil bölgeler genellikle van der Waals yarıçapına eşit olan mesafedeki etkileşimleri göstermektedir. Bu bakış açısı ile incelendiğinde C1-C6 benzen halkasının karbon atomları üzerinde ve N1 atomu üzerinde bu bölgelerin bulunduğu söylenebilir. Şekil 5.c'de bileşiğe ait d_e haritası görülmektedir. Bu harita üzerinde bulunan kırmızı renkli bölge en negatif bölge olarak ve yine bu bölgenin van der Waals yarıçapından daha kısa mesafede gerçekleşen etkileşimleri gösterdiği kabul edilir. Diğer haritalarda olduğu gibi yine bu bölgedeki en güçlü molekül içi etkileşimin olduğu bölge O1 atomu üzerinde lokalize olmuştur. Daha büyük ve koyu renkli kırmızı noktalar daha güçlü etkileşimi temsil ederken daha küçük ve açık kırmızı renkli noktalar etkileşimin gücünün daha zayıf olduğunu göstermektedir. Bu bakış açısı ile haritada ki kırmızı nokta incelendiğinde burada kuvvetli molekül içi etkileşimlerin var olduğu söylenebilir.



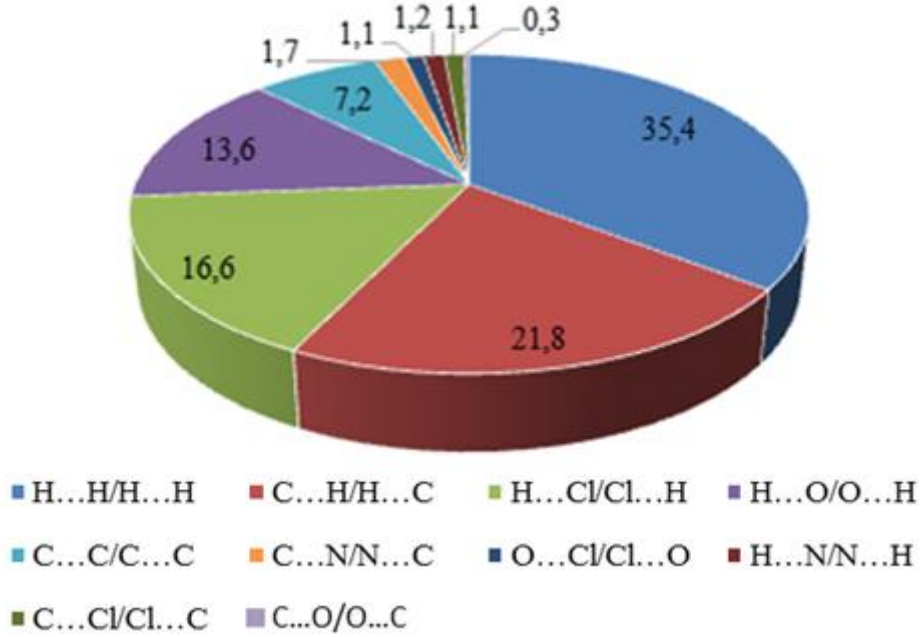
Şekil 6. Bileşiğe ait (a) eğrilik ve (b) şekil indeksi haritaları.

Hirshfeld analizinde sıklıkla kullanılan haritalardan diğer ikisi eğrilik ve şekil indeksi haritalarıdır. Bu haritalar kristal paketi içerisinde yer alan molekül içi etkileşimlerin detaylarının analiz edilmesi için önemlidir. Eğrilik haritalarında yüksek eğrilik ve düşük eğrilik bölgeleri mevcuttur. Bu eğriliklerin analiz edilebilmesi için hem renk hem şekil sınıflandırması mevcuttur. Bileşiğe ait eğrilik haritası Şekil 6.a'da sunulmuştur. Harita incelendiğinde belirgin olarak mavi ve yeşil bölgeler, daha az belirgin olarak ise sarı ve kırmızı renkli bölgeler dikkat çekmektedir. Mavi ve yeşil bölgeler kırmızı ve sarı bölgelere nispeten daha düşük eğrilik değerlerine sahiptir. Bu düşük eğrilik alanları daha zayıf molekül içi etkileşimleri gösterirken, yüksek eğrilik alanları daha güçlü molekül içi etkileşimleri göstermektedir. Bu bakış açısı ile Şekil 6.a incelendiğinde düşük eğrilik alanlarının genel olarak karbon ve hidrojen atomları üzerinde lokalize olduğu söylenebilir. Daha detaylı değerlendirilecek olunursa C1-C6 benzen halkası üzerindeki C1, C6 ve C5 atomları üzerinde daha belirgin lokalize olduğu görülmektedir. Bunun dışında C8-C13 benzen halkası incelenecek olursa bu halkaya bağlı olan metil grubunun da yine düşük eğrilik alanına sahip olduğu dolayısıyla da bu bölgede gerçekleşecek olan molekül içi etkileşimlerin zayıf olduğu söylenebilir. Belirgin kırmızı noktaların ise C11 ve O2 atomları üzerinde lokalize olduğu görülmektedir ki bu detay burada gerçekleşecek olan molekül içi etkileşimlerin diğer bölgelere kıyasla daha güçlü olacağını göstermektedir. Şekil 6.b bileşiğe ait şekil indeksi haritasını sunmaktadır. Bu harita incelendiğinde kırmızı içbükey ve mavi dışbükey üçgenel bölgelerin varlığı dikkat çekmektedir. Şekil indeksinde bulunan kırmızı içbükey üçgenler negatif bölgeler ve aynı zamanda güçlü çekici etkileşimlerin varlığını gösterirken, mavi dışbükey bölgeler diğer moleküllerle temas bölgelerini temsil eder. Güçlü çekici bölgeler donör atomların bulunduğu bölgeleri de temsil edebilirken, mavi dışbükey bölgeler genel olarak alıcı atomların temas bölgelerini temsil edebilir. Bu bakış açısı ile Şekil 6.b incelenecek olursa en belirgin kırmızı içbükey bölgenin C8-C13 benzen halkası üzerinde C8-C9 atomlarına daha yakın konumda lokalize olduğu görülmektedir. En belirgin mavi dışbükey bölge ise yine C8-C13 benzen halkasında C8 atomunun bulunduğu bölgede lokalize olduğu görülebilmektedir. Hirshfeld yüzey analizinde atom-atom etkileşimlerinin tüm molekül içi etkileşime sağladıkları katkının incelenmesi ve atom-atom etkileşimlerinin daha detaylı analiz edilmesi için 2D parmak izi haritaları kullanılmaktadır. 2D parmak izi haritaları Şekil 7'de sunulmuştur.



Şekil 7. 2D parmak izi haritaları.

2D parmak izi haritaları, yüzeydeki noktaları iç ve dış koordinatlar üzerinde göstermektedir. Burada iç koordinat d_i ile temsil edilirken dış koordinatlar d_e ile temsil edilir. Parmak izi haritalarında iç bölge x eksenini, dış bölge y eksenini temsil eder. Her iki bölge de pozitif değerlere sahiptir. Tüm atomlar-tüm atomlar arası etkileşimi veren 2D parmak izi haritası incelenecek olursa, dikkat çeken önemli detaylardan biri harita üzerinde bulunan iki sivri uçlarıdır. Bu sivri uçlar güçlü çekici etkileşimleri özellikle incelenen yapı için hidrojen bağı etkileşimlerini tasvir etmektedir. Buna bağlı olarak Şekil 7’de verilen H...H/H...H etkileşiminin parmak izi haritası da benzer çıkarımlara varmamızı sağlamaktadır. H...H/H...H etkileşimlerinde orta kısımda bulunan sivri uç bağ yapan hidrojen atomlarının birbirlerine kısa mesafede temas ettiklerini göstermektedir. Çünkü tam bu bölge de hem d_e hem de d_i değeri ortalama olarak 1.0 Å değerine sahiptir. Bu değerlerin birbirine yakın ve neredeyse eşit olması hidrojen atomlarının daha yakın mesafede etkileşim kurduğunu gösterebilir. Aynı zamanda bu bölgenin koyu mavi renge sabit olması da varılan bu sonucu destekler niteliktedir. Sivri uçların bulunduğu bölgelerin yüksek molekül içi etkileşime ev sahipliği yaptığını destekleyen bir diğer harita H...O/O...H etkileşiminin verildiği haritadır. Çünkü iki sivri uç bu haritada da diğer haritada olduğu gibi aynı konumda bulunmaktadır. Yine tüm atomlar...tüm atomlar etkileşimlerini veren harita incelendiğinde sağ ve sol kanat şekilleri dikkat çekmektedir. Bu kanat şekillerinin olduğu bölgeler genel olarak yine güçlü hidrojen etkileşimlerini tasvir eder. Aynı zamanda bu etkileşimler, daha yakın mesafede gerçekleşmektedir. Bileşiğe ait C...H/H...C ve H...Cl/Cl...H haritaları incelenerek de yine aynı çıkarıma varılabilmektedir. Burada güçlü ve yakın mesafede gerçekleşen hidrojen etkileşimlerinden bahsedilir ve diğer harita ile birebir aynı kanat şeklini sunmaktadır. Tüm atomlar...tüm atomlar etkileşiminin sunulduğu haritanın orta noktasında açık yeşil renkli bölge dikkat çekici niteliktedir. Bu bölgeler genel olarak C-H etkileşimlerinin varlığını göstermektedir. Şekil 7’de H...N/N...H haritası incelendiğinde daha açık mavi ve daha az noktasal alanlar bulunmaktadır. Burada daha uzun mesafede ve daha az güçlü etkileşimden bahsedilebilir. Şekil 7’de verilen C...C/C...C, C...O/O...C, C...N/N...C ve O...Cl/Cl...O etkileşimlerinin de daha uzun mesafelerde ve daha zayıf gerçekleştiği söylenebilir. C...Cl/Cl...C haritası incelendiğinde x ve y koordinatlarının birbirine yakın değerler aldığı görülmektedir. Bu etkileşimler tüm atomlar...tüm atomlar arası etkileşimlerde daha düşük katkıya sahiptir. Atom-atom etkileşimlerinin, tüm atomlar...tüm atomlar arası etkileşimlere sağlamış olduğu katkıların oranı Şekil 8’de sunulmuştur. Şekil 8 incelendiğinde %35.4 değeri ile en yüksek katkı H...H/H...H etkileşimi tarafından en düşük katkı %0.3 değeri ile ise C...O/O...C etkileşimleri tarafından sağlanmıştır. Bu analizler, bileşiğin yapısal özelliklerini anlamamıza ve kimyasal davranışını çözmemize yardımcı oluyor [49].



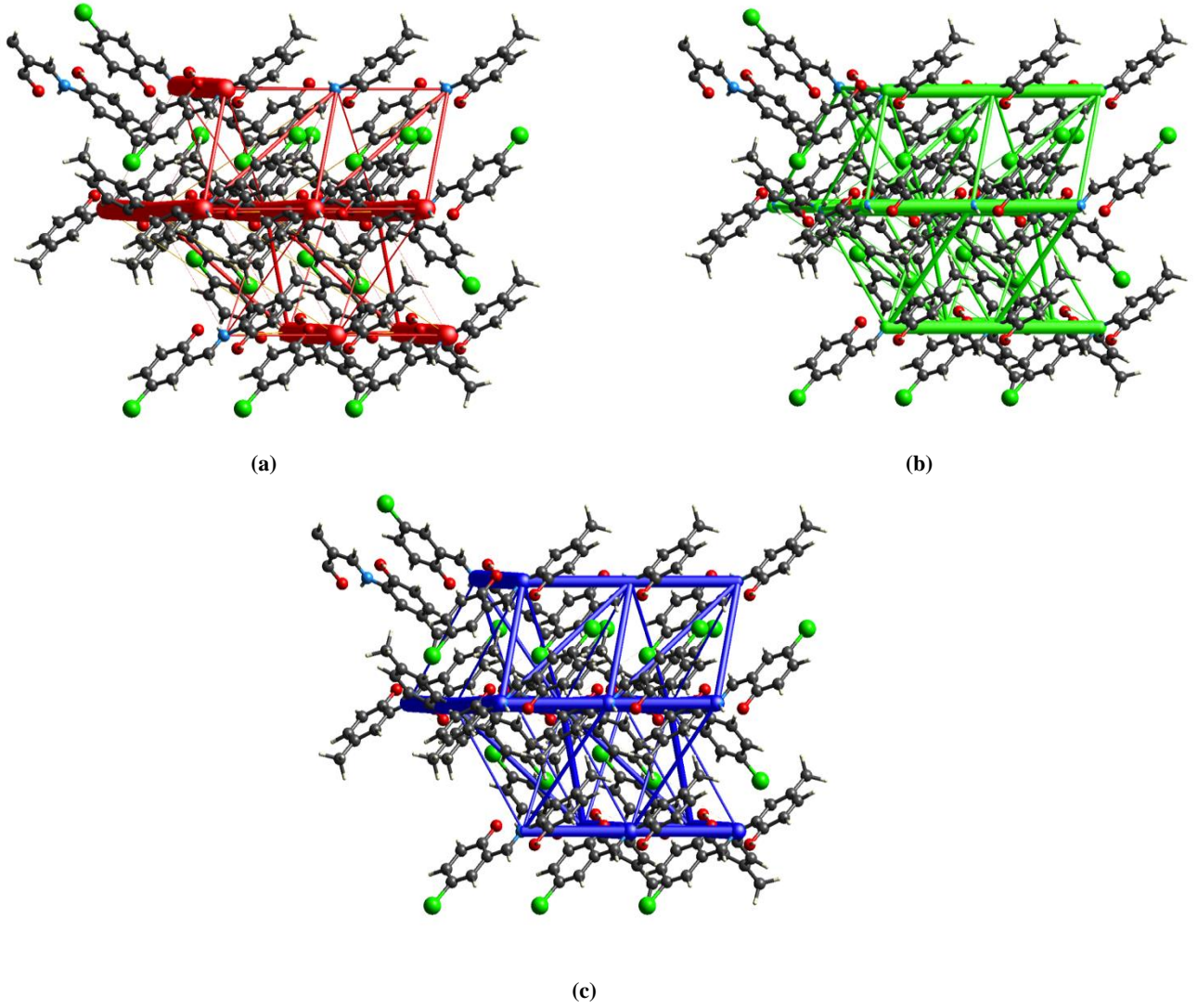
Şekil 8. Molekül içi etkileşim oranları.

Hirshfeld yüzey analizinde sıklıkla kullanılan ve enerji yoğunluğunun belirlenebilmesini sağlayan bir diğer özellik ise enerji çerçeveleridir. Enerji çerçeveleri kristali oluşturan molekülün supramoleküler yapı mimarisinin anlaşılması ve bu mimariyi oluşturan enerji türlerinin ifade edilmesi için kullanılmaktadır [50]. Bileşiğin enerji çerçeveleri hesaplanırken B3LYP/6-311G(d,p) baz setinden yararlanılmıştır. Aynı zamanda tek bir molekül çevresinde 3.8 Å değerine sahip bir küme için hesaplama gerçekleştirilmiştir. Her bir etkileşim enerjisi görselleştirilirken bir renk ile tanımlanır. Kırmızı renk elektrostatik etkileşim enerjisini, yeşil renk dağılım enerjisini ve mavi renk toplam enerjiyi tanımlamaktadır. Bileşiğe ait enerji çerçeveleri Şekil 9’da sunulmuştur. Şekil 9 incelendiğinde her bir enerji çerçevesi için belirli ve aynı zamanda ince ya da kalın silindirin bulunduğu dikkat çekmektedir. Enerji çerçevesinde sunulan bu silindirlerin boyutları molekül içi etkileşimin gücü hakkında bilgi vermektedir. Daha kalın silindirik alanlarda güçlü molekül içi etkileşimler meydana gelirken daha ince silindirik alanlarda daha zayıf etkileşimler meydana gelir. Aynı zamanda bu silindirlerin yönelim doğrultusu moleküller arasında meydana gelen etkileşimlerin doğrultusunu gösterir. Şekil 9.a bileşiğe ait elektrostatik etkileşim enerjisini vermektedir. Elektrostatik enerji genel olarak iyonik ve polar etkileşimlerin varlığını temsil etmektedir. Daha güçlü etkileşimin nispeten oksijen ve karbon atomlarının bulunduğu bölgelerde lokalize olduğu görülmektedir. Şekil 9.b bileşiğe ait dağılım enerjisini göstermektedir. Dağılım enerjisi, molekül içi van der Waals etkileşimlerini temsil etmektedir. Bu bakış açısı ile şekil incelenecek olursa, özellikle imin bağında bulunan N atomunun daha yoğun van der Waals etkileşimlerine sahip olduğu söylenebilir. Şekil 9.c bileşiğe ait toplam enerjiyi sunmaktadır. Toplam enerji, dağılım ve elektrostatik etkileşim enerjisinin toplamıdır.

Tablo 7, elektrostatik, polarizasyon dağılım ve itme enerjilerinin sahip olduğu simetri operasyonlarını ve enerji değerlerini sunmaktadır. Tablo 7 incelendiğinde en düşük elektrostatik etkileşim enerji değerine $-73.0 \text{ kcalmol}^{-1}$, en düşük polarizasyon enerjisinin $-20.0 \text{ kcalmol}^{-1}$ değerine, en düşük dağılım enerjisinin $-61.6 \text{ kcalmol}^{-1}$ değerine sahip olduğu görülmektedir. İtme enerjisinin genel olarak pozitif değere sahip olduğu tabloda görülmektedir. Daha pozitif değerler güçlü itici etkileşimleri ifader eder. Tablo incelenmeye devam edildiğinde en yüksek değer $73.0 \text{ kcalmol}^{-1}$ olduğu görülmektedir.

Tablo 7. Bileşiğin etkileşim enerjileri.

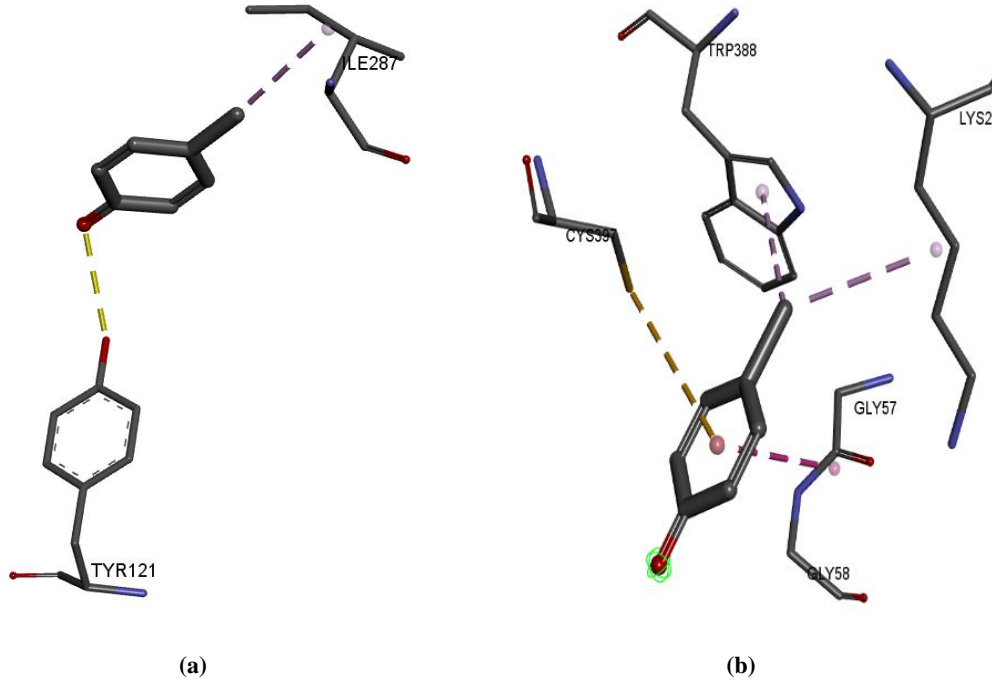
Simetri Operasyonu	R	Elektron Yoğunluğu	E_elektrstatik	E_polarizasyon	E_dağılım	E_itme
-x, -y, -x	6.31	B3LYP/6-311G(d,p)	-14.3	-2.7	-20.6	11.8
x+1/2, -y+1/2, x+1/2	11.43	B3LYP/6-311G(d,p)	-6.1	-0.8	-14.6	13.7
-x, -y, -z	10.91	B3LYP/6-311G(d,p)	-5.4	-0.9	-24.5	19.9
x, y, z	5.97	B3LYP/6-311G(d,p)	-7.7	-3.5	-61.6	35.8
x+1/2, -y+1/2, z+1/2	8.00	B3LYP/6-311G(d,p)	-73.0	-20.0	-19.1	73.0
-x+1/2, y+1/2, -z+1/2	8.70	B3LYP/6-311G(d,p)	-5.8	-0.7	-14.4	8.6
x+1/2, -y+1/2, z+1/2	8.29	B3LYP/6-311G(d,p)	4.3	-1.0	-2.7	0.0
-x, -y, -z	8.36	B3LYP/6-311G(d,p)	-14.6	-1.9	-19.6	18.7
-x+1/2, y+1/2, -z+1/2	8.09	B3LYP/6-311G(d,p)	-0.9	-2.0	-14.8	9.6
-x+1/2, y+1/2, -z+1/2	11.25	B3LYP/6-311G(d,p)	2.9	-0.4	-3.3	0.8



Şekil 9. Bileşiğe ait (a) elektrostatik etkileşim, (b) dağılım ve (c) toplam enerji çerçeveleri.

3.8. Moleküler Yerleştirme Simülasyonu

Moleküler yerleştirme, büyük boyutlu bir moleküler yapı ile küçük boyutlu bir ligandın uygun bağlanma geometrisi ile bağ yapmasını simüle eden yaklaşımlardan biridir. Özellikle bilgisayar destekli ilaç tasarımı çalışmalarında moleküler yerleştirme yöntemi sıklıkla tercih edilmektedir. Büyük ölçekli yapının uygun bağlanma bölgesinin keşfedilmesi, bağlanma geometrisinin belirlenmesi ve bu bağlanmanın afinitesini açıklamak ve bu verileri görselleştirmek için moleküler yerleştirme çalışması gerçekleştirilir. Öte yandan moleküler yerleştirme yöntemi, yapısı bilinen bir hedef ve ligandın yapısı baz alınarak, moleküler yapısı bilinmeyen hedef ve ligandların yapısının açıklanmasında da kullanılır [51]. Bileşiğin asetilkolinesteraz (E.C.3.1.1.7) enzimi ve monoamin oksidaz B (MAOB) enzimi ile moleküler yerleştirilmesi gerçekleştirilmiştir. Asetilkolinesterazın (AChE), vücutta başlıca görevlerinden biri asetilkolini (ACh) hidrolize etmektir. Hidrolizin homoestaziyi etkileyecek şekilde yüksek olması asetilkolin ifadenmesini azaltır. Bu durum sinir hücreleri arasındaki iletişimin zayıflamasına sebep olur. Birbirini takip eden bu sürecin Alzaymır hastalığının sebepleri arasında olduğu düşünülmektedir [12]. AChE dışında, monoamin oksidaz B (MAOB) enzimi aktivitesinin de Alzaymır hastalığını tetikleyecek etkisinin bulunduğu düşünülmektedir. Bu enzimin artmış aktivitesi, sinir hücreleri arasında nörotoksinlerin ve amiloid β proteininin sinir hücrelerinde birikmesine neden olur. Bu durum sinir hücreleri arasında gerçekleşen iletişimin zayıflamasına ve hatta engellenmesine sebep olmaktadır. Yine birbirini etkileyen bu süreçler Alzaymır hastalığının sebepleri arasında değerlendirilmektedir. [14]. Bileşiğe ait bu moleküler yerleştirme simülasyonunun görselleştirilmesi Şekil 10'da, bu bağlanmaya ait bağlanma afiniteleri Tablo 8'de verilmiştir.



Şekil 10. Başlık bileşiği ile asetilkolinesteraz enziminin (a) ve başlık bileşiği ile monoamin oksidaz-b enziminin (b) bağlanma simülasyonu sonucu elde edilen etkileşimler.

Tablo 8’de verilen bağlanma afiniteleri incelenecek olursa çalışılan bileşiğin her iki enzimle olan bağlanmasının güçlü olduğu söylenebilir. Genel bağlamda $-8.0 \text{ kcalmol}^{-1}$ ve daha düşük bağlanma enerjilerine sahip etkileşimler bağın kararlılığını olumlu yönde etkilemektedir. Aynı zamanda bu ve benzeri düşük bağlanma afiniteleri, etkileşimin önemli biyolojik etkinlikler sergileme ihtimalinin de yüksek olduğunu göstermektedir [52]. Bir etkileşimde hidrojen bağı ve hidrofobik etkileşimlerin varlığının incelenmesi önemlidir. Hem Şekil 10 hem de Tablo 8 bağlanmalardaki etkileşimleri sunmaktadır. Çalışılan bileşik ve asetilkolinesteraz enzimi arasında hem hidrojen bağı hem de hidrofobik etkileşimler oluşmuşken, başlık bileşiği ve MOAB enzimi arasında hidrofobik etkileşim ve π -sülfür etkileşimi olmuştur.

Tablo 8. Çalışılan bileşik ile asetilkolinesteraz ve monoamin oksidaz-B enzimlerinin moleküler yerleştirme simülasyonu sonuçlarından elde edilen veriler.

Enzimler	Bağlanma Afinitesi (kcalmol^{-1})	Hidrojen Bağı	Hidrofobik Etkileşimler	π -Sülfür Etkileşimi
Asetilkolinesteraz (E.C.3.1.1.7)	-8.8	Tyr121	Ile287	Gözlemlenmedi
Monoamin oksidaz-B	-9.0	Gözlemlenmedi	Gly57 Lys296 Trp388	Cys397

Enzimlerin yapısında da tıpkı proteinlerin yapısında olduğu gibi bağlanma cepleri adı verilen bölgeler vardır. Bu bölgeler iyon, ligand, substrat vb. küçük yapıların enzime bağlanmasını sağlamaktadır. Hidrofobik etkileşimler, bu bağlanma cebinde bulunan su moleküllerini itererek onların yer değiştirmesini sağlar bu da hem ligandın bağlanma cebinde sabit kalmasını sağlarken hem de bağlanmanın stabilitesini artırır. Dolayısıyla bağlanmanın güçlü ve bağlanma afinitesinin düşük olmasını sağlar [53]. MAO-B enzimin üç farklı aminoasit kalıntısı ve incelenen bileşik arasında gerçekleşmiş olan hidrofobik etkileşimler bağlanma afinitesinin daha düşük bir seviyede seyretmesine sebep olduğu söylenebilir. Asetilkolinesteraz enziminin Ile287 aminoasit kalıntısı ile yapmış olduğu hidrofobik etkileşim hem bağın kararlı olmasını hem de bağlanma afinitesini düşürmüştür.

Enzim-ligand etkileşimi gerçekleşirken oluşan hidrojen bağı, bir protein veya enzim de bağlanma noktalarının hangi kısımlar olduğunu belirler ve burada gerçekleşen bağlanmaların enerjisini optimize eder. Dolayısıyla bu durum bağlanma afinitesinin daha düşük bir değerde seyretmesini sağlamaktadır [54]. İncelenen yapı ve asetilkolinesteraz enziminde bulunan aminoasit Tyr121 arasında gerçekleşen hidrojen bağı hem bağlanma enerjisinin düşük olmasını katkıda bulunmuş hem de daha güçlü bir bağ ortaya çıkmasını sağlamıştır.

π -Sülfür etkileşimleri, bir enzim ya da protein aminoasit kalıntısının yapısında bulunan sülfür atomu ile küçük yapıli molekülün π elektronlarınca zengin olan yüzeyleri arasında gerçekleşir ve kovalent olmayan bir etkileşimdir. Aminoasit yapısında bulunan sülfür zayıf nükleofilik karakter gösterir ve π elektronlarınca zengin bölge ile çekim kuvveti oluşturur [55]. Bileşik ve MAOB enziminin Cys 397 aminoasit kalıntısı arasında gerçekleşen π -sülfür etkileşimi bileşiğin yapısında bulunan π elektronlarını kanıtlar niteliktedir. Aynı zamanda meydana gelen bu etkileşim, MAOB arasında gerçekleşen bağın asetilkolinesteraza kıyasla daha güçlü olmasını sağlamış olabilir.

4. Sonuçlar

Schiff bazları, son zamanlarda literatür de artan çalışmalar ile ve sahip olduğu birçok özellikle ilgi çekici moleküller arasında yer almaktadır. Bu çalışmada incelenen Schiff bazı sahip olduğu yüksek fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri ile dikkat çekmektedir. Teorik geometri parametre verileri deneysel verilerle büyük lde uyumaktadır. Yapıda bulunan imin grubu incelendiğinde N1 atomunun yeşil renkli olduğu dolayısıyla buradan azot atomunun nükleofilik olduğu, yapıda bu bölgenin pozitif bölge olarak değerlendirilebileceği ve bu bağlamda nükleofilik saldırı bölgesi olduğu söylenebilmektedir. İmin grubunda bulunan karbon atomu incelendiğinde karbon atomunun bulunduğu bölgenin kırmızı renkli olduğu ve bu bölge imin grubundaki elektrofilik bölgeyi dolayısıyla da negatif bölgeyi temsil etmektedir. Aynı zamanda bu bölge başka elektrofilik atomların bağlanması için de uygun bir bölge olarak değerlendirilmektedir. Bileşiğe ait ΔE değeri yaklaşık 1.8 eV değerine sahiptir. Bu da yapının yüksek iletkenliğe ve optik özelliklere sahip olduğunu göstermektedir. Mlliken yk dağılımına bakıldığında; sp^2 hibritlerine sahip karbon atomlarının yük yoğunluğu, sp^3 hibritlerine sahip karbon atomlarının yk yoğunluğundan daha byktir. Bu nedenle, başlık molekülü güçlü delokalizasyon enerjisi göstermektedir. Bu çalışmada, kristal yapı için van der Waals mesafelerindeki farklılıklar, d_{norm} , d_e , d_i , şekil indeksi, eğrilik haritaları oluşturulmuş ayrıca, iki boyutlu parmak izi grafikleri sonuçlarıyla moleküller arası etkileşim yüzdeleri belirlenmiştir. Hirshfeld yüzey analizi sonuçlarına göre, bileşiğin yapısında, H...H/H...H, C...O/O...C, C...N/N...C, O...Cl/Cl...O, C...Cl/Cl...C, C...H/H...C, H...Cl/Cl...H, H...O/O...H, C...C/C...C ve H...N/N...H moleküller arası etkileşimlerinin olduğu belirlenmiştir. Bu etkileşimler iki boyutlu parmak izi grafikleri incelendiğinde en baskın etkileşimin %35.4 değeri ile H...H/H...H etkileşimi tarafından en düşük katkının ise %0.3 değeri ile ise C...O/O...C etkileşimleri tarafından sağlandığı grlmştir. H...H/H...H etkileşiminden sonra en baskın etkileşim C...H/H...C etkileşiminden kaynaklanmaktadır. Bu çalışmada; incelenen bileşiğ için yapılmış hesaplamalarda yapının yüksek kutuplanmaya sahip olduğu, molekül içi etkileşimlerinin güçlü olduğu aynı zamanda yapısında bulundurduğu elektrofilik ve nükleofilik saldırı bölgeleriyle dışarıdan başka elektrofilik ve nükleofilik yapılarla bağ yapabilme olanağı gözlemlenmiştir. Vakum ortamında, NLO özelliklerini temsil eden yüksek merteye kutuplanabilirlik değeri, üre ile karşılaştırıldığında reden yaklaşık 20 kat daha fazla elde edilmiştir. Bu sonuca göre, incelenen bileşiğ gelecekteki çalışmalarda doğrusal olmayan optik malzeme olarak kullanılabilme potansiyeline sahiptir. Aynı zamanda moleküler yerleştirme simülasyonu sonucunda AChE ve MAO-B enzimleriyle kurmuş olduğu bağın gücü ve etkililiği de ileride klinik deneyler için araştırmacılara önemli bilgi ve birikim sağlayacağı öngörülmektedir.

Kaynaklar

- [1] H. Schiff, "Untersuchungen ber Slicinderivative", Justus Liebigs Annalen der Chemier vol. 150, no. 2, pp. 193-200, 1869.
- [2] A. Hameed, M. Al-Rashida, S. M. Abid Ali, and K. M. Khan, "Schiff bases in medicinal chemistry: A patent review (2010-2015)", Expert Opinion on Therapeutic Patents, vol. 27, no. 1, pp. 63-79, 2017. <https://doi.org/10.1080/13543776.2017.1252752>.
- [3] H. M. Alkahtani, A. A. Almehezia, M. A. Al-Omar, A. J. Obaidullah, A. A. Zen, A. S. Hassan, and W. M. Aboulthana, "In vitro evaluation and bioinformatics analysis of Schiff bases bearing pyrazole scaffold as bioactive agents: Antioxidant, anti-diabetic, anti-Alzheimer, and anti-arthritis", Molecules, vol. 28, no. 20, 7125, 2023. <https://doi.org/10.3390/molecules28207125>.
- [4] B. Pinchaipat, R. Chotima, M. Promkatkaew, S. Kitjaruwankul, K. Chainok, and T. Khudkham, "Experimental and theoretical studies on DNA binding and anticancer activity of nickel(II) and zinc(II) complexes with N-(8-quinoly) salicylaldehyde Schiff base ligands", Chemistry, vol. 6, no. 4, pp. 618-639, 2024. <https://doi.org/10.3390/chemistry6040037>.
- [5] J. Brankovi, M. G. Krokidis, I. Dousi, K. Papadopoulos, Z. D. Petrovi, and V. P. Petrovi, "Antioxidant and cytotoxic activities of selected salicylidene imines: Experimental and computational study", Molecular Diversity, vol. 26, no. 6, 3115-3128, 2022. <https://doi.org/10.1007/s11030-021-10370-9>.
- [6] D. Sarker, K. N. Ahmed, M. S. Rahman, and M. A. Kawsar, "Copper (II) complex of salicylaldehyde semicarbazone: Synthesis, characterization and antibacterial activity". Asian Journal of Chemical Sciences, vol 6, no. 4, pp. 1-8, 2019. <https://doi.org/10.9734/ajocs/2019/v6i430173>.
- [7] R. K. P. Tripathi, and S. R. Ayyannan, "Monoamine oxidase-B inhibitors as potential neurotherapeutic agents: An overview and update", Medicinal Research Reviews, vol. 39, no. 5, pp. 1603-1706, 2019. <https://doi.org/10.1002/med.21561>.
- [8] I. Vecchio, L. Sorrentino, A. Paoletti, R. Marra, and M. Arbitrio, "The state of the art on acetylcholinesterase inhibitors in the treatment of Alzheimer's disease", Journal of Central Nervous System Disease, pp. 1-13, 2021. <https://doi.org/10.1177/11795735211029113>.

- [9] C. P. Ferri, M. Prince, C. Brayne, H. Brodaty, L. Fratiglioni, M. Ganguli, K. Hall, K. Hasegawa, H. Hendrie, Y. Huang, A. Jorm, C. Mathers, P. R. Menezes, E. Rimmer, and M. Scazufca, "Global prevalence of dementia: A Delphi consensus study". *The Lancet*, vol. 366, no. 9503, pp. 2112-2117, 2005. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(05\)67889-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(05)67889-0).
- [10] E. Bomasang-Layno, and R. Bronsther, "Diagnosis and treatment of Alzheimer's disease: An update", *Dela Journal of Public Health*, vol. 7, no. 4, pp. 74-85, 2021. <https://doi.org/10.32481/djph.2021.09.009>.
- [11] H. Hampel, M. M. Mesulam, A. C. Cuello, A. S. Khachaturian, R. F. Farlow, P. J. Snyder, E. Giacobini, and Z. S. Giacobini, "Revisiting the cholinergic hypothesis in Alzheimer's disease: Emerging evidence from translational and clinical research", *Journal of Prevention of Alzheimer's Disease*, vol. 6, no. 1, pp. 2-15, 2019. <https://doi.org/10.14283/jpad.2018.43>.
- [12] B. U. Islam, and S. Tabrez, "Management of Alzheimer's disease: An insight of the enzymatic and other novel potential targets", *International Journal of Biological Macromolecules*, vol. 97, pp. 700-709, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.01.076>.
- [13] S. Manzoor, and N. Hoda, "A comprehensive review of monoamine oxidase inhibitors as anti-Alzheimer's disease agents: A review", *European Journal of Medicinal Chemistry*, vol. 206, 112787, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2020.112787>.
- [14] K. N. Westlund, R. M. Denney, R. M. Rose, and C. W. Abell, "Localization of distinct monoamine oxidase A and monoamine oxidase B cell populations in human brainstem", *Neuroscience*, vol. 25, no. 2, pp. 439-456, 1988. [https://doi.org/10.1016/0306-4522\(88\)90250-3](https://doi.org/10.1016/0306-4522(88)90250-3).
- [15] A. Elmali, Y. Elerman, and I. Svoboda, "5-Chloro-N-(2-hydroxy-5-methylphenyl)salicylaldehyde", *Acta Crystallographica Section C: Crystal Structure Communications*, vol. 57, no. 4, pp. 485-486, 2001. <https://doi.org/10.1107/s0108270101000993>.
- [16] Gaussian 03, Wallingford CT. [Online]. Available: <https://gaussian.com/>, 2004.
- [17] A. D. Becke, "Density-functional thermochemistry. III. The role of exact exchange", *The Journal of Chemical Physics*, vol. 98, no. 7, pp. 5648-5652, 1993. <https://doi.org/10.1063/1.464913>.
- [18] C. Lee, W. Yang, R. G. Parr, "Development of the Colle-Salvetti correlation-energy formula into a functional of the electron density", *Physical Review B*, vol. 37, pp. 785-789, 1988. <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.37.785>.
- [19] G. A. Petersson, and M. A. Al-Laham "A complete basis set model chemistry. II. Open-shell systems and the total energies of the first-row atoms", *The Journal of Chemical Physics*, vol. 94, 6081-6090, 1991. <https://doi.org/10.1063/1.460447>.
- [20] P. J. Stephens, F. J. Devlin, C. F. Chabalowski, M. J. Frisch, "Ab initio calculation of vibrational absorption and circular dichroism spectra using density functional force fields", *The Journal of Physical Chemistry*, vol. 98, pp. 11623-11627, 1994. <http://dx.doi.org/10.1021/j100096a001>.
- [21] A. Frish, A. B. Nielsen, and A. J. Holder, *Gauss View User Manual*, Gaussian Inc, Pittsburg, Pa, USA, 2001.
- [22] M. J. Turner, J. J. Mckinnon, S. K. Wolff, D. J. Grimwood, P. R. Spackman, D. Jayatilaka, and M. A. Spackman, *CrystalExplorer17*. University of Western Australia, Perth., 2017.
- [23] F. L. Hirshfeld, "Bonded-Atom Fragments for Describing Molecular Charge Densities", *Theoretica Chimica Acta*, vol. 44, pp. 129-138, 1977. <https://doi.org/10.1007/bf00549096>.
- [24] M. A. Spackman, and D. Jayatilaka, "Hirshfeld Surface Analysis", *CrystEngComm*, vol. 11, pp. 19-32, 2009. <http://dx.doi.org/10.1039/B818330A>.
- [25] J. J. McKinnon, D. Jayatilaka, and M. A. Spackman, "Towards Quantitative Analysis of Intermolecular Interactions with Hirshfeld Surfaces", *Chemical Communications*, vol. 37, pp. 3814-3816, 2007. <http://dx.doi.org/10.1039/b704980c>.
- [26] C. Bartolucci, E. Perola, C. Pilger, G. Fels, and D. Lamba, D. (2001). "Three-dimensional structure of a complex of galanthamine (Nivalin) with acetylcholinesterase from *Torpedo californica*: Implications for the design of new anti-

- Alzheimer drugs”, *Proteins: Structure, Function, and Bioinformatics*, vol. 42, no. 2, pp. 182-191, 2001. <https://doi.org/10.1002/1097-0134>.
- [27] C. Binda, J. Wang, L. Pisani, C. Caccia, A. Carotti, P. Salvati, D. E. Edmondson, and A. Mattevi, “Structures of human monoamine oxidase B complexes with selective noncovalent inhibitors: Safinamide and coumarin analogs”, *Journal of Medicinal Chemistry*, vol. 50, no. 23, pp. 5848-5852, 2007. <https://doi.org/10.1021/jm070677>.
- [28] O. Trott, and A. J. Olson, “AutoDock Vina: Improving the speed and accuracy of docking with a new scoring function, efficient optimization, and multithreading”, *Journal of Computational Chemistry*, vol. 31, no. 2, pp. 455-461, 2010. <https://doi.org/10.1002/jcc.21334>.
- [29] D. S. Biovia, “Discovery Studio Visualizer. San Diego”, CA, USA, 936, 240-249, 2017.
- [30] S. Başak, “Antitümör ve antikanserijen erkili bazı schiff bazı moleküllerinin moleküler yerleştirme yöntemi ile incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Sinop Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2023.
- [31] H. İnaç, “Crystal Structure of Zwitterionic (*E*)-9-(((3-hydroxyphenyl)iminio)methyl)-1,2,3,5,6,7-Hexahydropyrido[3,2,1-ij]Quinolin-8-Olate”, *International Scientific and Vocational Studies Journal*, vol. 7, no. 2, pp. 72-78, 2023. <https://doi.org/10.47897/bilmes.1316337>.
- [32] C. C. Ersanlı, Ç. Albayrak, M. Odabaşoğlu, and A. Erdönmez, “2-[(2-Hydroxy-4-nitrophenyl)aminomethylene]cyclohexa-3,5-dien-1(2*H*)-one, *Acta Crystallographica Section C*, vol. 59, no. 10, pp. o601-o602, 2003. <https://dx.doi.org/10.1107/S0108270103018456>.
- [33] C. C. Ersanlı, Ç. Albayrak, M. Odabaşoğlu, and O. Büyükgüngör, “(Z)-4-[(*E*)-(4-Butylphenyl)diazenyl]-6-[[1,3-dihydroxy-2-(hydroxymethyl)propan-2-ylamino]methylene]-2-methoxycyclohexa-2,4-dienone, *Acta Crystallographica Section E*, vol. 61, no. 12, pp. o4139-o4141, 2003. <https://dx.doi.org/10.1107/S1600536805037177>.
- [34] C. C. Ersanlı, Ç. Albayrak, M. Odabaşoğlu, and C. Kazak, “(Z)-6-[[1,3-Dihydroxy-2-(hydroxymethyl)propan-2-ylamino]methylene]-2-methoxy-4-[(*E*)-[3(trifluoromethyl)phenyl]diazenyl]cyclohexa-2,4-dienone”, *Acta Crystallographica Section E*, vol. 61, pp. o4051-o4053, 2005. <https://dx.doi.org/10.1107/S160053680503541>.
- [35] C. C. Ersanlı, Ç. Albayrak, M. Odabaşoğlu, and O. Büyükgüngör, “(Z)-6-[[1,3-Dihydroxy-2-(hydroxy-methyl)propan-2-ylamino]methylene]-2-methoxy-4-[(*E*)-o-tolyldiazenyl]-cyclohexa-2,4-dienone”, *Acta Crystallographica Section C*, vol. 62, no. 8, pp. o483-o485, 2006. <https://dx.doi.org/10.1107/S010827010602052X>.
- [36] C. J. Cramer, “Essentials of computational chemistry: theories and models”, Wiley, England, 562 pp., ISBN 0-471-48551-9, 2002.
- [37] D. Sajan, J. Hubert, V. S. Jayakumar, and J. Zaleski, “Structural and electronic contributions to hyperpolarizability in methyl *p*-hydroxy benzoate”, *Journal of Molecular Structure*, vol. 785, no. 1-3, pp. 45-53, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2005.01.004>.
- [38] C. Bosshard, K. Suttur, O. Pretre, M. Flörsheimer, P. Kaatz, and P. Günter, “Second-Order Nonlinear Optical Organic Materials: Recent Developments”, Springer Berlin Heidelberg, vol. 72, 72 p., 2000. https://doi.org/10.1007/978-3-540-49713-4_3.
- [39] L. Li, D. Sun, Z. Wang, X. Song, and S. Sun, “Synthesis, characterization and NLO properties of a new 3D coordination polymer assembled from *p*-aminobenzoic acid”, *Solid State Sciences*, vol. 11, no. 5, pp. 1040-1043, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.solidstatesciences.2008.12.003>.
- [40] A. E. Reed, L. A. Curtiss, and F. Weinhold, “Intermolecular Interactions from a Natural Bond Orbital, Donor-Acceptor Viewpoint”, *Chemical Reviews*, vol. 88, no. 6, pp. 899-926, 1988. <https://doi.org/10.1021/cr00088a005>.
- [41] F. Jensen, “Introduction to Computational Chemistry”, 2nd ed., Wiley, 2004.
- [42] C. Ravikumar, I. H. Joe, and V. S. Jayakumar, “Charge transfer interactions and nonlinear optical properties of push-pull chromophore benzaldehyde phenylhydrazone: A vibrational approach”, *Chemical Physics Letters*, vol. 460, pp. 552-558, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.cplett.2008.06.047>.

- [43] R. S. Mulliken, "Criteria for the Construction of Good Self-Consistent-Field Molecular Orbital Wave Functions, and the Significance of LCAO-MO Population Analysis", *The Journal of Chemical Physics*, vol. 36, pp. 3428-3439, 1962. <https://doi.org/10.1063/1.1732476>.
- [44] R. S. Mulliken, "Electronic Population Analysis on LCAO-MO Molecular Wave Functions. I", *The Journal of Chemical Physics*, vol. 23, pp. 1833-1840, 1955. <https://doi.org/10.1063/1.1740588>.
- [45] M. A. Spackman, J. J. McKinnon, and D. Jayatilaka, "Electrostatic potentials mapped on Hirshfeld surfaces provide direct insight into intermolecular interactions in crystals", *CrystEngComm*, vol. 10, no. 4, pp. 377-388, 2008. <https://doi.org/10.1039/B800654B>
- [46] B. Koşar, "4-Metoksi ve 3-hidroksi salisilaldehit türevi bazı schiff bazlarının yapısal özelliklerinin deneysel x-ışını kırınımı ve kuramsal yöntemlerle incelenmesi", *Doktora Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, 2008.
- [47] C. C. Ersanlı, G. Kaya Kantar, Z. Demircioğlu, and S. Şaşmaz, "4-(2-Methoxy-4-(prop-1-enyl)phenoxy)phthalonitrile; synthesis, characterization, Hirshfeld surface analysis and chemical activity studies", *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, vol. 667, no. 1, pp. 88-111, 2018. <https://doi.org/10.1080/15421406.2018.1528417>.
- [48] S. Çakmak, S. Kansız, M. Azam, C.C. Ersanlı, Ö. Idili, A. Veyisoğlu, H. Yakan, H. Küçük, A. Chutia, "Synthesis, structural investigation, Hirshfeld surface analysis, and biological evaluation of *N*-(3-cyanothiophen-2-yl)-2-(thiophen-2-yl)", *Acetamide*, vol. 7, no. 13, pp. 11320-11329, 2022.
- [49] Z. Demircioğlu, Ç. A. Kaştas, G. Kaştas, C.C. Ersanlı, "Synthesis, crystal structure, computational chemistry studies and Hirshfeld surface analysis of two Schiff bases, (*E*)-2-[(4-bromo-2-methylphenylimino)methyl]-4-methylphenol and (*E*)-2-[(4-bromo-2-methylphenylimino)methyl]-6-methylphenol", *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, 723, pp. 45-61, 2021. <https://doi.org/10.1080/15421406.2020.1871178>.
- [50] M. J. Turner, S. P. Thomas, M. V. Shi, D. Jayatilaka, and M. A. Spackman, "Energy frameworks: Insights into interaction anisotropy and the mechanical properties of molecular crystals", *Chemical Communications*, vol. 51, no. 18, pp. 3735-3738, 2015. <https://doi.org/10.1039/C4CC09201C>.
- [51] B. K. Shoichet, "Virtual screening of chemical libraries", *Nature*, vol. 432, pp. 862-865, 2005. <https://doi.org/10.1038/nature03197>.
- [52] S. Umar, S. Katariya, R. Soni, S. S. Soman, and B. Suresh, "o-Allyloxy chalcone derivatives: design, synthesis, anticancer activity, network pharmacology and molecular docking", *Chemical Papers*, vol. 78, pp. 8903-8917, 2024. <https://doi.org/10.1007/s11696-024-03723-9>.
- [53] B. Banaganapalli, N. Shaik, K. Hakeem, K., and R. Elango, "Molecular docking", In N. Shaik, K. Hakeem, B. Banaganapalli, and R. Elango (Eds.), *Essentials of Bioinformatics*, Vol. I, pp. 1-15, 2019. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-02634-9_15.
- [54] A. J. Owoloye, F. C. Ligali, O. A. Enejoh, A. Z. Musa, O. Aina, E. T. Idowu, and K. M. Oyebola, "Molecular docking, simulation and binding free energy analysis of small molecules as PfHT1 inhibitors" *PLoS One*, vol. 17, no. 8, e0268269, 2022. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0268269>.
- [55] T. Ahmed, A. U. Khan, M. Abbass, E. R. Filho, Z. Ud-Din, and A. Khan, "Synthesis, characterization, molecular docking, analgesic, antiplatelet and anticoagulant effects of dibenzylidene ketone derivatives", *Chemistry Central Journal*, vol. 12, no. 1, pp. 1-18, 2018. <https://doi.org/10.1186/s13065-018-0507-1>.

Evaluation of Online Food Ordering Service Platforms Using MCDM Methods

Aşır Özbek ^{a,1}, Özlem Akyüz Kantarcı ^b

^a Kırıkkale University, Kırıkkale, Türkiye
ORCID ID : 0000-0003-2753-5147

^b Kırıkkale University, Kırıkkale, Türkiye
ORCID ID: 0000-0001-8660-5649

Abstract

With the widespread use of the internet, users save time and money thanks to many online transactions that have entered our lives. During the Covid-19 pandemic, online grocery shopping and food ordering have become extremely popular thanks to the solutions offered by the internet. Therefore, the aim of the study is to evaluate online food ordering service platforms according to EDAS, LOPCOW and WASPAS methods, which are among the MCDM methods. In the study, participants were first interviewed over the phone to determine online food ordering service platforms. The interview was applied to randomly selected people between the ages of 15-55 residing in different cities of Turkey. Participants were asked which online food ordering service platforms they preferred the most. In the interview with fifty participants, Getir Yemek, Trendyol Yemek and Yemek Sepeti were determined as alternatives. Again, ten criteria were determined based on the interview results and similar studies. Ten different decision makers evaluated these three platforms according to the determined criteria. Criteria weights were determined with LOPCOW, and the options were analyzed with EDAS and WASPAS. As a result of the analysis, it was seen that Getir Yemek was the most suitable company. The combined application of EDAS, LOPCOW and WASPAS methods offers a new perspective among existing methods. The study provides valuable information for practitioners by demonstrating the usability and effectiveness of different methods together.

Keywords: “Order food online, MCDM, EDAS, LOPCOW, WASPAS.”

1. Giriş

Bilişim teknolojilerinde devrim olarak görülen internet hizmetinin her geçen gün gelişmesi ve hayatımızın her alanında etkin bir kullanım yeri bulması ile geçmiş zamanlarda yaşanan sorunların pek çoğuna modern ve pratik çözümler getirilmiştir. Bunlardan en önemlisi internet sayesinde zaman ve para tasarrufu sağlanmasıdır.

İnternet kullanımı gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır ve bunun bir sonucu olarak online işlemler, online alışveriş, online eğitimler, online ödemeler gibi yeni hizmetler hayatımıza girmektedir. İnternet kullanımına bağlı olarak geliştirilen akıllı telefonlar ve bununla birlikte sunulan mobil uygulamalar da internetin sağladığı kolaylıklardır. Gerek web siteleri gerek mobil uygulamalar aracılığıyla sadece birkaç tıklama ile istenilen zamanda ve istenilen yerde çiçek gönderiminden uçak bileti almaya, sigorta yaptırmaktan dergi satın almaya, sağlık raporlarını görüntülemekten yemek siparişi vermeye kadar sayısız işlem birkaç dakika içinde zahmetsizce ve yorulmadan halledilmektedir. İşte tüm bu işlemler e-ticaret sayesinde mümkün olmaktadır.

Gündelik hayatımızı kolaylaştıran teknolojik ürün ve hizmetlerin zamanla daha fazla kullanıcıya ulaşması yeni iş sektörlerinin ve yeni ihtiyaçların doğmasına yol açmaktadır. Gelişen teknoloji, pek çok alanı olduğu gibi işletmeleri ve onların pazarlama sistemlerini de geliştirmiştir. E-ticaretteki gelişmeler sonucunda ivme kazanan online alışveriş pek çok firmayı online pazara yöneltmiş ve böylelikle üretici ve tüketiciyi buluşturan online platformlar meydana gelmiştir [1] Bunlardan biri de online yemek siparişi hizmeti veren platformlardır. Online yemek siparişi dünyada ilk defa 1994’te, ülkemizde ise ilk defa 2001’de gerçekleşmiştir. Özellikle 2020 yılında pandemi nedeniyle evlerde kalmaya mecbur olunan dönemde online yemek siparişi oldukça rağbet görmüştür. Bu da online yemek siparişi hizmeti veren platformların kurulmasına ve çok hızlı bir şekilde gelişmesine neden olmuştur.

Online yemek siparişi hizmet platformları web site ya da mobil uygulama üzerinden restoranlara ya da marketlere ulaşarak yemeye hazır yiyecek veya yemek yapmak üzere alınan yiyeceklerin siparişi edilmesi işlemidir. Online yemek siparişi hizmet platformları tüketicilere buldukları bölgede hizmet veren restoranlardan farklı mutfaklara özgü alternatifler sunan, restorana ve

¹ Corresponding Author
E-mail Address: ozbek@kku.edu.tr

bölgeye özel kampanya ve indirimler sağlayan, onlarca çeşit yemeği bir arada görebilme imkânı tanıyan sanal platformlardır [1]. Ayrıca online yemek sipariş hizmet platformları tüketicilere bu restoranlara puan vererek online sipariş deneyimini değerlendirme imkânı vermektedir. Böylece diğer tüketicilere fikir vermiş olmakta ve işletmelere de geri bildirim sağlamaktadır. Online sipariş hizmet platformları sayesinde restoranlar daha fazla müşteriye ulaşabilmekte, sanal mağazalarına daha çok ürün yerleştirebilmekte ve rakipleriyle rekabet avantajı kazanmaktadır.

Bu çalışmada özellikle pandemi sonrası daha çok önem kazanan online yemek sipariş hizmet platformları incelenmiştir. Online yemek siparişi için tercih edilen popüler platformlar, çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemlerinden olan EDAS (Evaluation based on Distance from Average Solution), LOPCOW (LOGarithmic Percentage Change-driven Objective Weighting) ve WASPAS'a (Weighted Aggregated Sum Product ASsessment) göre değerlendirmiştir. ÇKKV yöntemleri bir çok problemin çözümünde başarı ile kullanılmaktadır. Örneğin aşı merkezlerinin yoğunluğunu etkileyen faktörlerin belirlenmesinde Fuzzy ELECTRE I Yöntemi [2] veya mera alanlarının otlama kapasitelerinin analizi [3] gibi problemlerin çözümünde AHS ve TOPSIS gibi ÇKKV yöntemleri kullanılmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünde, konu ile ilgili mevcut literatür gözden geçirilmiş, önceki çalışmalar ve yöntemler hakkında bilgi sunulmuştur. Böylece, çalışmanın temelleri ve katkıları netleştirilmiştir. Üçüncü bölümde, araştırmada kullanılan yöntemler detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Çalışmada uygulanan yöntemlerin uygulanma şekilleri ve aşamaları hakkında kapsamlı bilgi verilmiştir. Dördüncü bölümde çalışmanın sürecini gösteren bir model akış şeması olarak geliştirilmiştir. Ayrıca, bu bölümde elde edilen bulgular sunulmuş ve analiz edilmiştir. Son bölümde, çalışmanın genel değerlendirmesi yapılmış ve elde edilen sonuçlar üzerinden çıkarımlar yapılmıştır. Gelecekte bu konularda çalışmak isteyen araştırmacılara yönelik tavsiyeler verilmiştir.

2. Literatür Araştırması

Kahraman vd. 2004'te bir tekstil işletmesinde yemek hizmeti sunacak işletme seçimi için ÇKKV yöntemlerinden biri olan bulanık AHS (Analytical Hierarchy Proses-Analitik Hiyerarşi Süreci) yöntemini kullanmıştır. Alanında uzman üç işletmenin müşterileriyle görüşerek bu çalışmayı gerçekleştirmiştir. Çalışmada "servis kalitesi", "yemek kalitesi", "hijyen", "yemeğin hijyeni", "servis personelinin hijyeni", "servis araçlarının hijyeni", "yemek çeşitleri", "günün tamamlayıcı yemekleri", "yemeklerin kalitesi", "yemeğin tadı", "servis personelinin davranışı", "servis süresi", "telefonda iletişim", "problemin çözüm yeteneği" değişkenleri ile işletmeler değerlendirilmiştir [4]. Çitli, 2006 yılında yaptığı çalışmada ÇKKV yöntemlerinden hangisinin daha güvenilir olduğunu tespit etmeye çalışmıştır. Bulanık AHS yöntemini bir yemek şirketine uygulamıştır. Araştırmaları sonucunda sentetik derece değeri hesaplama metodu ile yemek şirketi seçiminde optimum sonuç alınacağını tespit etmiştir [5]. 2011 yılında Aytaç vd. bir tekstil işletmesi için yemek hizmeti verecek işletme seçiminde bulanık ELECTRE I (Elimination and Choice Translating Reality English) yöntemini kullanmıştır. Çalışmada Denizli'deki beş yemek hizmeti sunan işletmeyi "referans", "yemeğin tadı" ve "çeşitliliği", "hijyen", "fiyat" ve "servis kalitesi" gibi altı kriterden oluşan bir değerlendirmeye tabi tutmuştur. Bulanık ELECTRE I yöntemine göre en uygun işletmeyi seçmiştir [6]. Pigatto vd, 2017 yılında yaptıkları çalışmalarında Brezilya'daki çevrimiçi gıda dağıtım şirketlerinin performanslarını karakterize etmek ve ticari işlemleri yürütmek için bir site olarak kullanılması amacıyla bu şirketlerin web sitelerinin içeriğini analiz etmişlerdir. Brezilya'da çevrimiçi dağıtım sektöründe faaliyet gösteren 30 şirketten oluşan bir örneklemden veri toplama ve analiz yoluyla niteliksel ve keşfedici bir yaklaşım kullanmıştır. Web sitelerinin incelemelerini, içerik, kullanılabilirlik ve işlevsellik yönlerini içeren parametreler aracılığıyla araştırma yapmışlardır. Sonuçlara göre "içerik" boyutunun en yüksek katılım oranına sahip boyut olduğunu, ardından "işlevsellik" boyutunun ve ardından "kullanılabilirlik" boyutunun geldiğini görmüşlerdir [7]. Fu, 2019 yılında bir havayolu işletmesi için AHS, ARAS (Additive Ratio Assessment-Katkı Oranı Değerlendirmesi) ve çok seçmeli hedef programlama yöntemlerini kullanarak en iyi yemek hizmeti veren işletmeyi tespit etmeye çalışmıştır. Bunu "servis ve yemek kalitesi", "teslimat süresi", "işletmenin imajı" ve "besin güvenliği" gibi kriterler ışığında belirlemiştir [8]. Öztürk 2019'da fastfood restoranlarının seçimi için geçerli olan faktörleri araştırmış, bunun için AHS yöntemini kullanmıştır. "Hijyen", "fiyat", "tat ve lezzet", "personel tutumu", "marka bilinirliği", "servis hızı", "menünün çeşitliliği", "işletme ortamı ve konumu" gibi kriterlerle analizlerini yapmıştır. 180 üniversite öğrencisine yönelttiği basit anket yöntemine dayanan anket sonucunda restoran seçiminde en çok dikkat edilen özelliklerin "temizlik", "yiyeceğin lezzeti" ve "personelin tutumu" olduğunu görmüştür [9]. İkinci, 2019 hazır yemek sektöründeki tedarikçilerin seçimi probleminde ÇKKV yöntemlerinden AHS yöntemini kullanarak en uygun seçimi yapmaya çalışmıştır. Tedarikçilerin seçiminde etkili olan kriterlerin kıyaslamasında müşterilerle yapılan yüz yüze anketler sonucunda en çok önem verilen kriterleri belirlemiş ve en uygun tedarikçiyi belirlemiştir. Çalışmasında "kriz yönetimi", "nitelik", "ödeme süresi", "güvenilirlik", "masraf", "deneyim", "yeşil üretim" kriterlerini oluşturmuş ve yemek şirketlerinin tedarikçi seçiminde öncelikli olarak hangi kriterlere dikkat ettiğini ortaya koymuştur. Ayrıca tedarikçinin seçilmek istediği niteliklerin göreceli önemini belirlemeye çalışmıştır [10]. Arslankaya, 2020 yılındaki çalışmasında yemek hizmeti veren işletmelerin seçiminde hangi yöntemin kullanılması gerektiğini tespit etmeye çalışmıştır. Bunun için ELECTRE ve VIKOR (Vise Kriterijumsa Optimizacija I Kompromisno Resenje) yöntemlerine göre işletmeleri değerlendirmiştir. Sonuçta VIKOR yöntemini %97,80'lik oranla daha güvenilir bulmuştur [11]. Nguyen vd. 2021 yılında Vietnam'daki online gıda dağıtım işletmelerini inceledikleri çalışmada ağırlıklı toplam ürün değerlendirme yöntemi ve ÇKKV yöntemlerinden bulanık AHS yöntemini kullanmıştır. Çalışmada işletmelerin değerlendirme kriterleri "ödeme kolaylığı", "teslimat hızı", "çevrimiçi hizmet seviyesi", "sipariş karşılama" ve "teslim maliyetidir" [12]. Gupta ve Duggal 2021'deki çalışmalarında tüketicilerin Hindistan'daki online

gıda dağıtım uygulamalarının (OFDA-Online Food Delivery Applications) kullanımı ve seçimi ile ilgili çeşitli risk ve fayda algılarını belirlemeyi amaçlamışlardır. Ayrıca, tüketicilerin OFDA seçimlerinin ardındaki nedenleri, kapsayıcı tutumlarını ve davranışsal niyetlerini nasıl etkilediğini keşfetmek istemişlerdir. 337 kullanıcı üzerinde yapılan anketle 31 yapı kullanılarak bir faktör modeli üzerinde test edilen 5 risk ve 2 fayda faktörü için keşif faktör analizine tabi tutulup ardından yapısal model uygulamışlardır. Tüketicilerin seçim davranışlarının yalnızca algılanan risk ve fayda faktörlerinden etkilenmediği, aynı zamanda genel tutum ve davranış farklılıklarından da sorumlu olduğu bulmuşlardır. Ayrıca, risk algısındaki bir azalmanın veya tüketicilerin fayda algısındaki bir artışın, OFDA kullanımına yönelik genel tutumlarını olumlu yönde etkileyeceği bulmuşlardır [13]. Ajipura Shankar vd, 2022’de Hindistan’daki yemek pazarının büyümesindeki etmenleri ÇKKV yöntemlerinden bulanık TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity) ve bulanık AHS yöntemleri ile incelemişlerdir. Birkaç çevrimiçi yemek dağıtım işletmesinin değerlendirilip en iyisinin seçilmesine yardımcı olmak için yepyeni bir metodolojiyi, ikili karşılaştırma prosedürünü sunmuşlardır. İkili karşılaştırma prosedürü, gelişmiş AHS ile değerlendirme yanlılığını azaltmaya veya tamamen ortadan kaldırmaya da yardımcı olan bulanık küme teorisini birleştirerek sezgisel olarak yapılmıştır. Çalışmanın temel fikri, çevrimiçi yemek siparişi verirken tüketicilerin seçimlerini etkileyen faktörleri ampirik olarak değerlendirmektir. Bu çalışma ile toplam 177 anket katılımcısından veri toplanarak analiz yoluyla nitel ve keşifsel bir yaklaşım kullanılmıştır. Toplanan tüm verilerin istatistiksel analizleri (t-testleri ve faktör analizi kullanılarak), çevrimiçi gıda dağıtım araçları aracılığıyla çevrimiçi gıda siparişinde tüketiciler için önemli faktörleri sonuçlandırmak için kullanılmıştır. Sonuçlar, çevrimiçi gıda dağıtımının başarısını doğrudan etkilediği düşünülen faktörlerin öncelikli olarak “teslimat süresinin”, “hizmet kalitesinin”, “fiyatının” ve “teslim edilen gıdanın durumunun” oluşturduğunu göstermiştir. “Restoran çeşitliliği ve sayısı”, “menüsü”, “teslimat takip hizmeti” ve “teslimat yapan kişinin tutumu” gibi faktörlerin ikinci grubu oluşturduğu tespit edilmiş ve dolaylı faktörler olarak değerlendirilmiştir [14]. Ulutaş 2019’da yaptığı çalışmasında SWARA (Step-wise Weight Assessment Ratio Analysis-Aşamalı Ağırlık Değerlendirme Oran Analizi) ve MAIRCA (Multi Attributive Ideal Real Comparative Analysis-Çoklu Değerlendirme İdeali Gerçek Karşılaştırmalı Analiz) yöntemleri kullanılarak yemek şirketi seçimi yapmıştır. Kriter ağırlıkları SWARA yöntemi ile, alternatiflerin performansları ise MAIRCA yöntemi değerlendirilmiş ve alternatiflerin öncelik sıralamasına yer verilmiştir. “Hijyen”, “lezzet”, “yemek çeşitleri”, “servis zamanı”, “referanslar”, “servis kalitesi” ve “fiyat” kriterlerini belirlemiştir. SWARA yöntemi uygulaması neticesinde “hijyen” kriterinin en önemli kriter olduğu görülmüştür. Alternatiflerin sıralanmasında ise dört alternatif MAIRCA yöntemine göre değerlendirilmiş ve alternatiflerin önem sıraları tespit edilmiştir [15]. Erdoğan, mobil yemek siparişi uygulamalarında sistem kalitesi, uygulama yararı, gizlilik değişkenleri, estetik, keyif ve sosyal mevcudiyet değişkenlerinin müşteri tatmini üzerindeki etkilerini 453 kişiden topladığı verilerle belirlemiştir. Araştırmada veriler kolayca örnekleme yöntemiyle elde edilmiştir [16]. Erdem, mobil yemek siparişi uygulamalarının kullanıcılar tarafından tercih edilmesinde rol oynayan kriterlerin önem sırasına göre önceliklendirilmesi yapılmıştır. Araştırmada 4 ana kriter ve 16 alt kriter belirlenmiştir. Verilerin analizinde ÇKKT tekniklerinden AHS kullanılmıştır. Ana kriterlerden hizmet ilk sırada yer alırken alt kriterlerden servis hızı kriteri en önemli kriter olarak belirlenmiştir [17].

Literatürde, online yemek sipariş hizmet platformlarının performansını ölçmeye yönelik birçok çalışma bulunmasına rağmen, EDAS, LOPCOW ve WASPAS yöntemlerinin entegre bir şekilde uygulandığı bir çalışmaya rastlanmamaktadır. Bu durum, araştırmanın özgünlüğünü ve katkısını ön plana çıkarmaktadır. Online yemek sipariş hizmet platformlarının performansını entegre yöntemlerle ölçen bir çalışma eksikliği mevcuttur. Bu çalışma, EDAS, LOPCOW ve WASPAS yöntemlerinin birleşik kullanımını araştırarak mevcut yöntemler arasında yeni bir perspektif sunmaktadır. Çalışma, farklı yöntemlerin birlikte kullanılabilirliğini ve etkinliğini ortaya koyarak uygulayıcılar için değerli bilgiler sağlayacaktır. Araştırma hem akademik literatüre hem de sektöre önemli katkılarda bulunarak, gelecekteki araştırmalar için bir referans noktası oluşturacaktır. Bu bağlamda, çalışmanın hem teorik hem de pratik açıdan önemli bir boşluğu doldurması beklenmektedir.

3. Yöntemler

ÇKKV problemlerinin çözümünde nitel, nicel veya her iki türü destekleyen birçok ÇKKV yöntemleri mevcuttur. Problemin ÇKKV yöntemleriyle çözümünde en uygun yöntemi belirlemek en uygun seçeneği doğru tespit etmek açısından çok önemli olmaktadır. Bu çalışmada kriterlerin ağırlıklandırılması için LOPCOW ve en uygun seçeneği belirlemek içinse EDAS ve WASPAS yöntemleri tercih edilmiştir. Literatür araştırması neticesinde yapılan çalışmalarda EDAS ve WASPAS yöntemlerinin başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür. EDAS Yöntemi geliştiren yazarlar, EDAS yöntemini VIKOR, TOPSIS, SAW ve COPRAS (Complex Proportional Assessment) gibi diğer ÇÖKV yöntemleri ile karşılaştırmışlar ve yöntemin geçerliliğini test etmişlerdir. Yeni olmasına rağmen bu yöntemin bir çok problemin çözümünde başarı ile uygulandığı görülmektedir. Örneğin yöntemi geliştiren yazarlar tarafından envanter kalemlerinin ABC sınıflandırmasını yapmak için kullanılmıştır. Bu çalışmada 47 envanter kalemi "ortalama birim fiyatı", "yıllık dolar kullanımı" ve "teslim süresi" ölçütlerine göre değerlendirilmiştir [18]. EDAS ve WASPAS yöntemlerinin kullanımını kolay olması, özel uygulama programlarına gerek kalmadan Microsoft Excel paket programı yardımı ile problemin çözülebilmesi ve uygulandıkları problemlerin çözümünde başarılı sonuçlar vermesi nedeniyle tercih edilmiştir [19].

3.1. LOPCOW Yöntemi

LOPCOW (Logarithmic Percentage Change-driven Objective Weighting) yöntemi, 2022 yılında Ecer ve Pamucar tarafından geliştirilen objektif kriter ağırlıklandırma yöntemlerinden biridir. Yöntemde serilerin ortalama kare ve standart sapmalarının

yüzdesi alınarak, serinin boyutundan kaynaklanan boşluk ortadan kaldırılmaktadır. Ayrıca LOPCOW yöntemi negatif ham verilerden etkilenmemektedir. LOPCOW yöntemine ait işlem adımları (1) ile (5) arasındaki formüllerle verilmiştir [20].

Adım 1: Bu adımda, alternatiflerin belirlenen kriterlere göre performans değerlerinin gösterildiği başlangıç karar matrisi oluşturulur. Eşitlik (1) ile sembolize edilen bu matris, kriterlerin değerlendirilmesinde temel bir yapı sağlar [20, 21].

$$DM = \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_m \end{matrix} \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Adım 2: Bu adımda, başlangıç karar matrisindeki değerler normalize edilir. Normalizasyon, alternatiflerin performansını karşılaştırılabilir hale getirmek için gereklidir. Doğrusal max-min normalizasyon tekniği kullanılarak gerçekleştirilir. Fayda yönlü kriterler için normalize edilmiş değer, Eşitlik (2) ile hesaplanır. Maliyet yönlü kriterler için normalize edilmiş değer, Eşitlik (3) ile hesaplanır [20, 21].

$$r_{ij} = \frac{X_{ij} - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (2)$$

$$r_{ij} = \frac{X_{\max} - X_{ij}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (3)$$

Adım 3: Bu adımda, her bir kriterin standart sapmalarının yüzdesi olarak ortalama kare değeri, verinin büyüklüğünden kaynaklanan farkı ortadan kaldıracak ölçüde hesaplanır. Eşitlik (4)'de σ sırasıyla standart sapmayı ve m ise alternatif sayısını temsil etmektedir [20, 21].

$$PV_{ij} = \left| \ln \left(\frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m r_{ij}^2}{m}}}{\sigma} \right) \times 100 \right| \quad (4)$$

Adım 4: Kriter ağırlıklarının hesaplanması. Her bir kriter ağırlığı Eşitlik (5) kullanılarak kriterlerin yüzde değerlerinin toplamına bölünerek hesaplanır [20, 21].

$$w_j = \frac{PV_{ij}}{\sum_{i=1}^n PV_{ij}} \quad (5)$$

3.2. EDAS Yöntemi

Ghorabae vd. tarafından 2015 yılında geliştirilen EDAS yöntemi ilk olarak ABC analizine göre envanter kalemlerinin sınıflandırmasında uygulanmış ve geçerliliği test edilerek literatüre kazandırılmıştır. EDAS, Türkçe'ye "Ortalama Çözüm Uzaklığına Dayalı Değerlendirme" olarak çevrilen yeni bir ÇKKV yöntemidir.

EDAS yöntemi aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır [22].

Adım 1: EDAS yönteminin ilk adımında, alternatiflerin belirlenen kriterlere göre performans değerlerinin gösterildiği ve Eşitlik (6) ile tanımlanan başlangıç karar matrisi oluşturulur. x_{ij} , i . seçeneğin j . kritere göre performans değerini göstermektedir. n kriter sayısını; m ise seçenek sayısını göstermektedir. Bu matris, alternatiflerin her bir kriter altında nasıl performans gösterdiğini sistematik bir şekilde sunar [22].

$$[X_{ij}]_{m \times n} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{i1} & x_{i2} & \dots & x_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (6)$$

Adım 2: EDAS yönteminin ikinci adımında, alternatiflerin her bir kritere göre ortalama performans değeri hesaplanır. Bu, seçeneklerin genel performansını anlamaya yardımcı olur. Seçeneklerin her bir kritere göre ortalama değeri, Eşitlik (7)

kullanılarak elde edilir. Bu adımda, her bir kriter için ortalama performans değeri hesaplanarak, tüm seçeneklerin karşılaştırılabilirliğini artırır. Ortalama değer, her bir kriterin genel performans düzeyini gösterir ve karar verme sürecinin sonraki aşamalarında referans noktası olarak kullanılır [18, 23].

$$AV_j = \frac{\sum_i^m X_{ij}}{m} \quad (7)$$

$$AV = [AV_j]_{1 \times n} \quad (8)$$

Adım 3: EDAS yönteminin üçüncü adımında, her bir kriter için ortalamadan pozitif uzaklık matrisi (PDA) ve negatif uzaklık matrisi (NDA) Eşitlik (9) ve Eşitlik (10) ile oluşturulur. Bu matrisler, alternatiflerin ortalama değerden ne kadar uzaklaştığını gösterir. PDA, her bir alternatifin ortalamadan pozitif uzaklığını gösterir; bu, alternatifin ortalama değerden ne kadar daha iyi olduğunu ifade eder. NDA, her bir alternatifin ortalamadan negatif uzaklığını gösterir; bu, alternatifin ortalama değerden ne kadar daha kötü olduğunu ifade eder. Kriterler maliyet yönlü oldukları zaman PDA, Eşitlik (13) ve NDA, Eşitlik (14), fayda yönlü oldukları zamansa PDA, Eşitlik (11) ve NDA, Eşitlik (12) kullanılarak oluşturulur [22,23].

$$PDA = [PDA_{ij}]_{m \times n} \quad (9)$$

$$NDA = [NDA_{ij}]_{m \times n} \quad (10)$$

$$PDA_{ij} = \frac{\max(0, (X_{ij} - AV_j))}{AV_j} \quad (11)$$

$$NDA_{ij} = \frac{\max(0, (AV_j - X_{ij}))}{AV_j} \quad (12)$$

$$PDA_{ij} = \frac{\max(0, (AV_j - X_{ij}))}{AV_j} \quad (13)$$

$$NDA_{ij} = \frac{\max(0, (X_{ij} - AV_j))}{AV_j} \quad (14)$$

Adım 4: EDAS yönteminin dördüncü adımında, ortalamadan pozitif uzaklık matrisi (PDA) Eşitlik (15) ve negatif uzaklık matrisi (NDA) Eşitlik (16) kullanılarak ağırlıklandırılır. Bu işlem, her kriterin önemini dikkate alarak matrislerin elemanlarının belirli bir ağırlık ile çarpılmasını içerir. Bu adım, PDA ve NDA matrislerinin her bir elemanını, ilgili kriterin ağırlığı ile çarparak kriterlerin önemine göre matrislerin değerlerini günceller [18, 22].

Adım 5: EDAS yönteminin beşinci adımında, her bir kritere göre alternatiflerin ağırlıklandırılmış pozitif uzaklık (PDA) ve negatif uzaklık (NDA) değerleri toplanır. Bu, toplam pozitif ve negatif uzaklık değerlerini elde etmek için gereklidir. Toplam pozitif uzaklık değeri, Eşitlik (15) ile hesaplanır. Bu adım, alternatiflerin her birinin ortalamadan ne kadar uzak olduğunu gösteren toplam değerleri elde eder. Toplam pozitif uzaklık (SP), alternatiflerin ortalamadan ne kadar iyi performans gösterdiğini; toplam negatif uzaklık (SN) ise ne kadar kötü performans gösterdiğini ifade eder [19, 22, 23, 24].

$$SP_i = \sum_{j=1}^n v_j PDA_{ij} \quad (15)$$

$$SN_i = \sum_{j=1}^n v_j NDA_{ij} \quad (16)$$

Adım 6: EDAS yönteminin altıncı adımında, toplam pozitif uzaklık (SP) ve toplam negatif uzaklık (SN) değerleri normalize edilir. Bu işlem, her seçeneğin değerlerini karşılaştırılabilir hale getirir. Normalize edilmiş toplam pozitif uzaklık değeri, Eşitlik (17) kullanılarak hesaplanır. Normalize edilmiş toplam negatif uzaklık değeri ise Eşitlik (18) ile hesaplanır. Bu adım, her seçeneğin SP ve SN değerlerini, diğer seçeneklerle karşılaştırmak için normalize eder. Normalize edilmiş değerler, alternatiflerin genel performanslarını daha net bir şekilde değerlendirmeyi sağlar [22].

$$NSP_i = \frac{SP_i}{\max_i(SP_i)} \quad (17)$$

$$NSN_i = 1 - \frac{SN_i}{\max_i(SN_i)} \quad (18)$$

Adım 7: EDAS yönteminin yedinci adımında, her seçeneğin nihai performans değeri (AS) hesaplanır. Bu, normalize toplam pozitif (NSP) ve normalize toplam negatif (NSN) puanlarının aritmetik ortalamasını alarak yapılır. Nihai performans değeri, Eşitlik (19) kullanılarak hesaplanır. Bu adım, her alternatifin nihai performansını belirleyerek, alternatiflerin genel başarı düzeylerini karşılaştırılabilir hale getirir. Aritmetik ortalama kullanılması, her iki puanın da eşit derecede önemli olduğunu varsayar [22].

$$AS_i = \frac{1}{2}(NSP_i + NSN_i) \quad (19)$$

AS_i değeri, $0 \leq AS_i \leq 1$ koşulunu sağlamalıdır.

Adım 8: EDAS yönteminin son adımında, her seçeneğin nihai performans puanı (AS) hesaplandıktan sonra, seçenekler bu puanlara göre sıralanır. Seçeneklerin AS puanları, büyükten küçüğe doğru sıralanır. En yüksek performansa sahip seçenek ilk sırada yer alır. en kötü performansa sahip seçenek son sırada yer alır. Bu adım, karar vericilere hangi alternatifin en iyi performansa sahip olduğunu ve hangi alternatifin en düşük performansa sahip olduğunu gösterir [19, 22, 23, 24].

3.3. WASPAS Yöntemi

WASPAS yöntemi, ÇKKV alanında kullanılan ve Ağırlıklandırılmış Toplam Model (WSM) ile Ağırlıklandırılmış Çarpım Model (WPM) yöntemlerini birleştiren bir yaklaşımdır. 2012 yılında Zavadskas ve diğerleri tarafından geliştirilmiştir. WASPAS yöntemi, alternatiflerin sıralanmasında hem toplam hem de çarpım modelinden yararlanarak, daha dengeli bir değerlendirme sunar. Bu sayede, karar verme süreçlerinde daha kapsamlı ve güvenilir sonuçlar elde edilmesine imkân tanır [22]

Adım 1: WASPAS yönteminin ilk adımı, karar matrisinin oluşturulmasıdır. Bu matris, alternatiflerin belirlenen kriterlere göre performans değerlerini içerir. Başlangıç karar matrisi, her alternatifin her bir kriter altında nasıl performans gösterdiğini sistematik bir şekilde sunar. Bu aşama, karar verme sürecinin temelini oluşturur ve sonraki adımlar için gerekli verileri sağlar. Bu matris Eşitlik (20) ile formüle edilmiştir. Bu matriste; m, seçeneklerin; n ise kriterlerin sayısını gösterirken x_{ij} , i. seçeneğin j. kritere göre performans değerini göstermektedir [19, 22].

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{i1} & x_{i2} & \dots & x_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (20)$$

Adım 2: WASPAS yönteminin ikinci adımı, karar matrisinin normalize edilmesidir. Normalize etme süreci, tüm kriterler arasında tutarlılık sağlamak amacıyla yapılır. Normalize işlemi, farklı ölçeklerdeki performans değerlerini karşılaştırılabilir hale getirir. Eğer kriter maliyet yönlü ise, normalize işlemi için Eşitlik (21) kullanılır. Bu eşitlik, her bir alternatifin değeri, ilgili kriterin en düşük değeri ile karşılaştırılarak hesaplanır. Eğer kriter fayda yönlü ise, normalize işlemi için Eşitlik (22) kullanılır. Burada, her alternatifin değeri, ilgili kriterin en yüksek değeri ile karşılaştırılır [19, 22].

$$x_{ij}^* = \frac{\min_i x_{ij}}{x_{ij}} \quad (21)$$

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij}}{\max_i x_{ij}} \quad (22)$$

Adım 3: WASPAS yönteminin üçüncü adımı, Ağırlıklandırılmış Toplam Model (WSM) kullanılarak seçeneklerin görel performansının hesaplanmasıdır. Her bir seçeneğin performansı, normalize edilmiş kriter değerlerinin kriter ağırlıkları ile çarpımının toplanmasıyla hesaplanır. Bu işlem aşağıdaki Eşitlik (23) ile formüle edilir. Bu adımda, her seçeneğin genel performansı, kriterlerin ağırlıkları dikkate alınarak hesaplanır. Böylece, her alternatifin kriterlere göre ne kadar iyi performans gösterdiği belirlenir [19, 22].

$$P_i^{(1)} = \sum_{j=1}^n x_{ij}^* w_j \quad (23)$$

Adım 4: WASPAS yönteminin dördüncü adımı, Ağırlıklandırılmış Çarpım Modeli (WPM) kullanılarak seçeneklerin görelî performansının hesaplanmasıdır. Her bir seçeneğin performansı, normalize edilmiş kriter değerlerinin, kriter ağırlıklarına göre üssünün alınması ve çarpılmasıyla hesaplanır. Bu işlem Eşitlik (24) ile formüle edilir. Bu adımda, her seçeneğin genel performansı, kriter değerlerinin çarpımına dayalı olarak hesaplanır. Kriter ağırlıkları, her bir kriterin ne kadar önemli olduğunu belirterek, sonucun daha anlamlı olmasını sağlar [19, 22].

$$P_i^{(2)} = \prod_{j=1}^n (x_{ij}^*)^{w_j} \quad (24)$$

Adım 5: WASPAS yönteminin beşinci adımı, seçeneklerin nihai performans değerlerinin hesaplanmasıdır. Bu aşama, WSM ve WPM yöntemlerinden elde edilen performans değerlerini birleştirir. Seçeneklerin nihai performans değerleri, aşağıdaki Eşitlik (25) kullanılarak hesaplanır [19, 22].

$$P_i = 0.5 P_i^{(1)} + 0.5 P_i^{(2)} \quad (25)$$

Bu adımda, WSM ve WPM yöntemleri kullanılarak elde edilen değerler, belirli bir denge ile birleştirilir. Bu, her iki yöntemin avantajlarından yararlanarak daha dengeli ve kapsamlı bir nihai performans değerlendirmesi sağlar. Karar verme sürecinin sıralama etkinliğini ve doğruluğunu arttırabilmek için Eşitlik (26) kullanılabilir.

$$P_i = \alpha P_i^{(1)} + (1 - \alpha) P_i^{(2)} \quad (26)$$

WASPAS yönteminde α parametresi, WSM ve WPM yöntemleri arasındaki dengeyi belirler. α , 0 ile 1 arasında bir değer alır. WASPAS yöntemi, $\alpha=0$ olarak belirlendiğinde WPM yöntemine ve $\alpha=1$ olarak belirlendiğinde ise WSM yöntemine dönüşmektedir. Karar verici, hangi yöntemin daha uygun olduğunu düşünerek α değerini serbestçe belirleyebilir. Bu, karar vericinin tercihleri ve kriterlerin önem derecelerine bağlıdır. Zavadskas vd., α için 0,5 değerini belirlemişlerdir. Ancak, en uygun değer hesaplanmasını önermektedirler. Bu, karar vericinin özel durumlarına ve kriterlerin ağırlıklarına göre değişiklik gösterebilir [19, 22].

Adım 6: WASPAS yönteminin son adımı, hesaplanan nihai performans değerlerine göre seçeneklerin sıralanmasıdır. Her alternatifin nihai performans değeri P_i olarak hesaplanmıştır. Seçenekler, P_i değerlerine göre en iyiden en kötüye doğru sıralanır. Yani, en yüksek P_i değerine sahip alternatif en üst sırada yer alır. İlk sıradaki seçenek, performansı en yüksek olan alternatif olarak kabul edilir [19, 22].

4. Model, Veri Seti ve Bulgular

Türkiye'nin önde gelen 3 online yemek sipariş hizmet platformlarının performansını değerlendirmek için ÇKKV yöntemlerinden LOPCOW, EDAS ve WASPAS yöntemleri bütünleşik olarak kullanılmıştır. Değerlendirme süreci için geliştirilen model akış şeması formatı şeklinde Şekil 1'de verilmiştir.

Şekil 1'de gösterilen model, dört ana kısımdan oluşmaktadır. Her bir kısım, sürecin farklı aşamalarını temsil etmektedir.

1. Hazırlık aşaması:

- Problemin tanımlanması.
- Seçeneklerin ve kriterlerin belirlenmesi.
- Bu aşama, çalışmanın temelini oluşturarak sonraki adımlar için gerekli bilgilerin toplanmasını sağlar.

2. Kriterlerin ağırlıklandırılması:

- Karar vericilerin görüşleri doğrultusunda toplanan veriler kullanılarak LOPCOW yöntemi ile kriterlerin ağırlıkları belirlenir.
- Bu, her kriterin öneminin dikkate alınarak performans analizlerinde etkisini artırır.

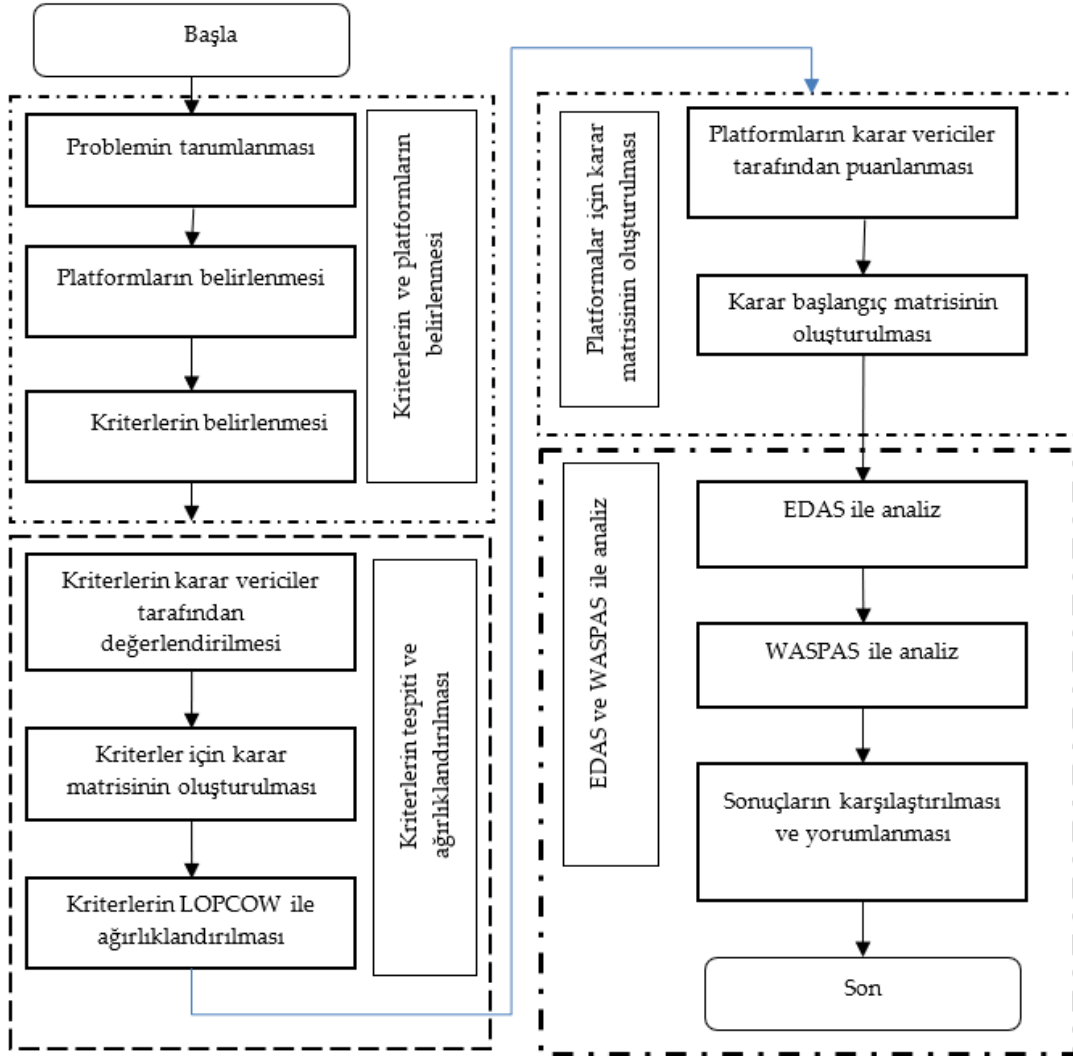
3. Başlangıç karar matrisinin oluşturulması:

- Karar vericiler ile yapılan görüşme temel alınarak başlangıç karar matrisi oluşturulur.
- Bu matris, her iki yöntemin temel aldığı verileri içermektedir ve alternatiflerin performansını değerlendirmede kullanılır.

4. Performans analizi:

- İlk olarak platformların performansı EDAS yöntemi ile analiz edilir.
- Ardından platformlar WASPAS yöntemi ile analiz edilir.
- Her iki yöntem ile elde edilen bulgular karşılaştırılıp yorumlanır.

Bu model, sistematik bir yaklaşım sunarak, online yemek sipariş hizmet platformlarının performansını etkili bir şekilde analiz etmeyi amaçlamaktadır.



Şekil 1. Platformların performansını değerlendirme modeli.

4.1. Kriterlerin ve Platformların Belirlenmesi

Çalışmanın ilk aşamasında öncelikle problem tanımlanmıştır. Daha sonra problemin çözümüne yönelik olarak bu aşamada kriterler ve analize tabi tutulacak online yemek sipariş hizmeti veren platformlar belirlenmiştir.

4.1.1. Kriterlerin Belirlenmesi ve Ağırlıklandırılması

Çalışma için daha önce yemek siparişi verilen platformlar üzerine yapılan araştırmalardan, yemek siparişi veren katılımcılar ile telefonla yapılan görüşmelerde ve literatür taramasından elde edilen bilgilerden yola çıkarak birtakım kriterler belirlenmiştir. [4, 6, 7, 13]. Bunları şu şekilde sıralamak mümkündür:

- Besinlerin tazeliği ve güvenliği (C1),
- Yemeğin tadı ve lezzeti (C2),
- Yemeğin, işletmenin ve servisin hijyeni (C3),
- Menü çeşitliliği (C4),
- İşletmenin imajı ve reklamları (C5),
- Teslimat süresi ve teslimat personelinin tutumu (C6),
- Ödeme yöntemleri (Kredi / Banka kartı ile ödeme, Kapıda nakit ödeme, yemek kartları ile ödeme) (C7),
- Yemek fiyatları, indirimler ve kampanyalar (C8),
- Kullanıcı yorumları (C9),
- İşletmenin internet sitesinin veya mobil uygulamasının kullanım kolaylığı (C10).

Daha sonra kriter ağırlıklarını belirlemek için LOPCOW yöntemi uygulanmıştır. Karar vericilerin kriterleri 1-9 puan skalası (1: en düşük; 9: en yüksek) üzerinden değerlendirmişlerdir. Değerlendirme verileri Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Karar vericilerin kriterleri değerlendirmesi.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
KV1	9	8	9	7	3	2	8	2	6	9
KV2	9	9	9	8	7	9	1	8	9	9
KV3	9	9	9	9	8	9	8	9	9	9
KV4	9	9	9	7	7	8	6	9	6	8
KV5	3	1	2	4	7	5	8	4	4	2
KV6	6	9	9	9	5	8	8	9	1	9
KV7	9	8	9	7	5	5	8	4	7	8
KV8	9	9	9	8	8	9	2	8	9	9
KV9	9	9	9	9	8	9	8	8	7	8
KV10	9	9	9	6	6	8	8	9	4	7

Çalışmada ilk olarak karar vericiler tarafından kriterlerin değerlendirilmesi neticesinde oluşturulan ve Tablo 1'de gösterilen veriler LOPCOW yöntemi uygulanarak analiz edilmiş ve kriter ağırlıkları elde edilmiştir. LOPCOW yöntemine göre ilk olarak Tablo 1'deki veriler Eşitlik (2) kullanılarak normalize edilmiştir. Normalize karar matrisi Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2. Normalize karar matrisi.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
KV1	1,000	0,875	1,000	0,600	0,000	0,000	1,000	0,000	0,625	1,000
KV2	1,000	1,000	1,000	0,800	0,800	1,000	0,000	0,857	1,000	1,000
KV3	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
KV4	1,000	1,000	1,000	0,600	0,800	0,857	0,714	1,000	0,625	0,857
KV5	0,000	0,000	0,000	0,000	0,800	0,429	1,000	0,286	0,375	0,000
KV6	0,500	1,000	1,000	1,000	0,400	0,857	1,000	1,000	0,000	1,000
KV7	1,000	0,875	1,000	0,600	0,400	0,429	1,000	0,286	0,750	0,857
KV8	1,000	1,000	1,000	0,800	1,000	1,000	0,143	0,857	1,000	1,000
KV9	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,857	0,750	0,857
KV10	1,000	1,000	1,000	0,400	0,600	0,857	1,000	1,000	0,375	0,714

LOPCOW yönteminin bir sonraki adımında PV değerleri elde edilmiştir. Eşitlik (3) kullanılarak elde edilen PV değerleri Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. PV değerleri.

C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
99,008	108,595	109,861	85,642	82,085	86,283	80,412	75,525	78,956	105,072

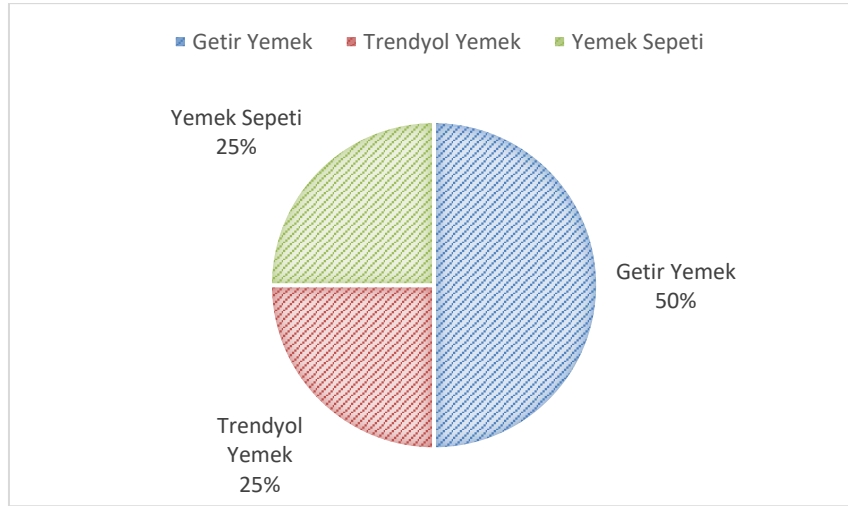
LOPCOW yönteminin son adımında Eşitlik (5) kullanılarak kriter ağırlıkları Tablo 4’te gösterildiği şekilde elde edilmiştir. Uygulama neticesinde en önemli kriterin C3 ile sembolize edilen “Yemeğin, işletmenin ve servisin hijyeni” kriteri olduğu anlaşılmaktadır. C3 kriterini C2 ile sembolize edilen “Yemeğin tadı ve lezzeti” takip etmiştir. K8 ile sembolize edilen “Yemek fiyatları, indirimler ve kampanyalar kriteri ise sıralamada sonda yer almıştır.

Tablo 4. Kriter ağırlıkları.

C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
0,109	0,119	0,121	0,094	0,090	0,095	0,088	0,083	0,087	0,115

4.1.2. Platformların Belirlenmesi ve Karar Matrisinin Oluşturulması

Platformlar, kullanıcıların görüşleri ve Google Trends verileri dikkate alınarak belirlenmiştir. Rastgele seçilen 50 kişiyle görüşme yapılmıştır. Kullanıcılara en çok hangi online yemek sipariş hizmet platformunu tercih ettiği sorularak sonuçlar grafik ile gösterilmiştir. Kullanıcı görüşüne göre en çok tercih edilen üç online yemek platformları değerlendirmeye tabi tutulmuştur. Kullanıcı görüşüne göre platformlar önceliklerine göre; Getir Yemek, Trendyol Yemek ve Yemek Sepeti olarak tespit edilmiştir. Sonuçlar Şekil 2 ile gösterilmiştir.

**Şekil 2. Platformların kullanıcılar tarafından tercih grafiği.**

Çalışmada ÇKKV yöntemlerinden EDAS ve WASPAS yöntemine göre değerlendirilecek olan online yemek sipariş hizmet platformlarını on karar verici, belirlenmiş olan kriterlere göre 1 en düşük öneme sahip, 9 en önemli olacak şekilde 1-9 aralığında puan vererek değerlendirmiştir. Karar vericilerin değerlendirilmeleri neticesinde verilen puanların aritmetik ortalaması alınarak her iki yöntemde de temel alınacak başlangıç karar matrisi adı verilen bir matris oluşturulmuştur. Çalışmada ÇKKV yöntemlerinden EDAS ve WASPAS yöntemine göre değerlendirilecek olan matris Tablo 5’te gösterilmiştir.

Tablo 5. Başlangıç karar matrisi.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
Getir Yemek	8,40	8,70	7,90	7,60	7,30	7,70	7,90	7,30	6,80	8,30
Trendyol Yemek	7,80	8,10	7,90	6,90	7,40	8,00	7,20	6,50	6,20	7,70
Yemek Sepeti	7,90	8,00	7,70	6,70	7,60	7,40	6,90	7,50	6,50	7,80

5. Bulgular

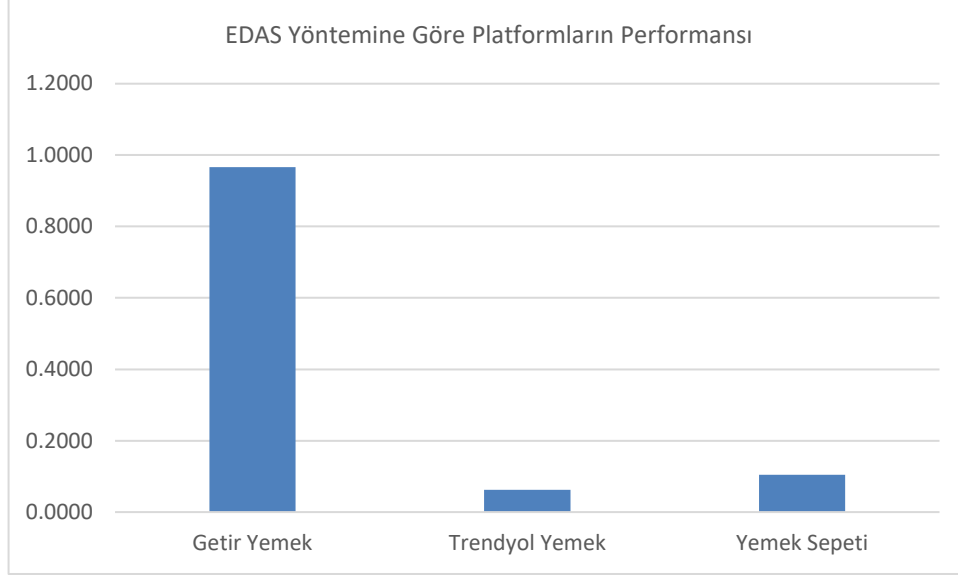
Karar vericiler tarafından online yemek sipariş hizmet platformlarının kriterlere göre değerlendirilmesi neticesinde oluşturulan ve Tablo 5’te verilen matris, online yemek hizmet platformlarının analizinde kullanılacak temel verileri oluşturmaktadır. Bu veriler EDAS ve WASPAS yöntemleri ile analiz edilmiştir. Ayrıca WASPAS yönteminin bileşenleri olan WSP ve WPM adındaki iki farklı yöntemde de platformlar değerlendirilmiştir.

5.1. EDAS ile Değerlendirme

Online yemek platformlarının EDAS yöntemine göre değerlendirilmesi neticesinde Tablo 6' daki sıralama oluşmuştur. Tablo 6'da yer alan sıralama ve Şekil 3' birlikte değerlendirildiğinde "Getir Yemek" platformunun en iyi performansı gösterdiği anlaşılmaktadır. İkinci sırayı "Yemek Sepeti" alırken son sırada "Trendyol Yemek" almıştır.

Tablo 6. EDAS yöntemine göre sıralama.

	Getir Yemek	Trendyol Yemek	Yemek Sepeti
AS	0,9666	0,0626	0,1046
Sıralama	1	3	2



Şekil 3. EDAS Yöntemine göre platformların performans grafiği.

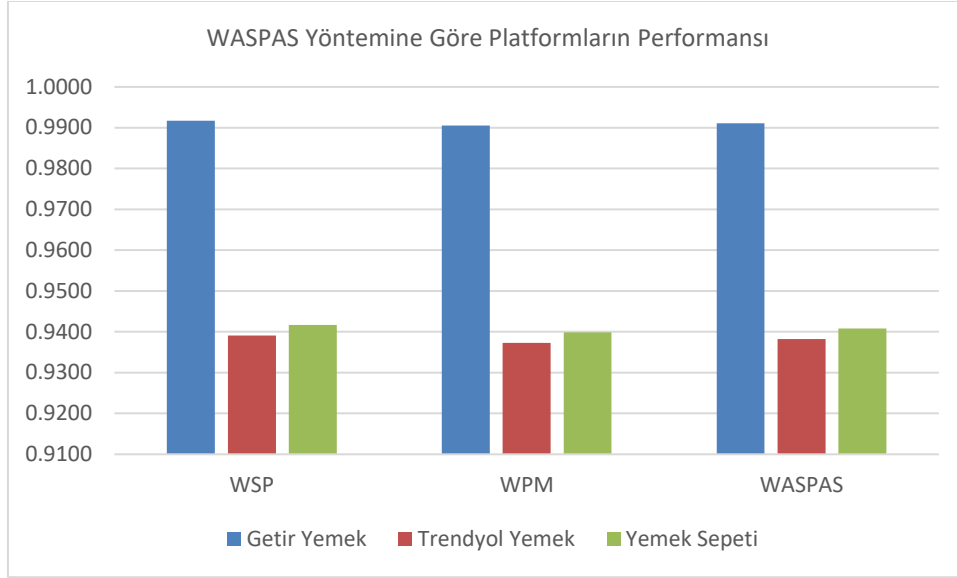
Getir yemek platformunun 1. sırada çıkmasının başlıca sebebi önem sırasına göre ilk dört sırada yer "Yemeğin tadı ve lezzeti (C2)", "İşletmenin internet sitesinin veya mobil uygulamasının kullanım kolaylığı (C10)" ve "Besinlerin tazeliği ve güvenliği (C1)" kriterlerinin önem katsayısının yüksek olmasından ve karar vericiler tarafından bu kriterlere göre platforma yüksek oranda puan vermelerinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

5.2. WASPAS ile Değerlendirme

Online yemek hizmet platformlarının WASPAS yöntemine göre değerlendirilmesi neticesinde Tablo 7' deki sıralama oluşmuştur. Tablo 7'de görüldüğü gibi 3 farklı sıralama elde edilmiştir. Tablo 7'de yer alan sıralama ve Şekil 4' birlikte değerlendirildiğinde "Getir Yemek" platformunun en iyi performansı gösterdiği anlaşılmaktadır. İkinci sırayı "Yemek Sepeti" alırken son sırada "Trendyol Yemek" almıştır. İkinci ve üçüncü sıraya yerleşen platformların birbirlerine çok yakın olduğu görülmüştür.

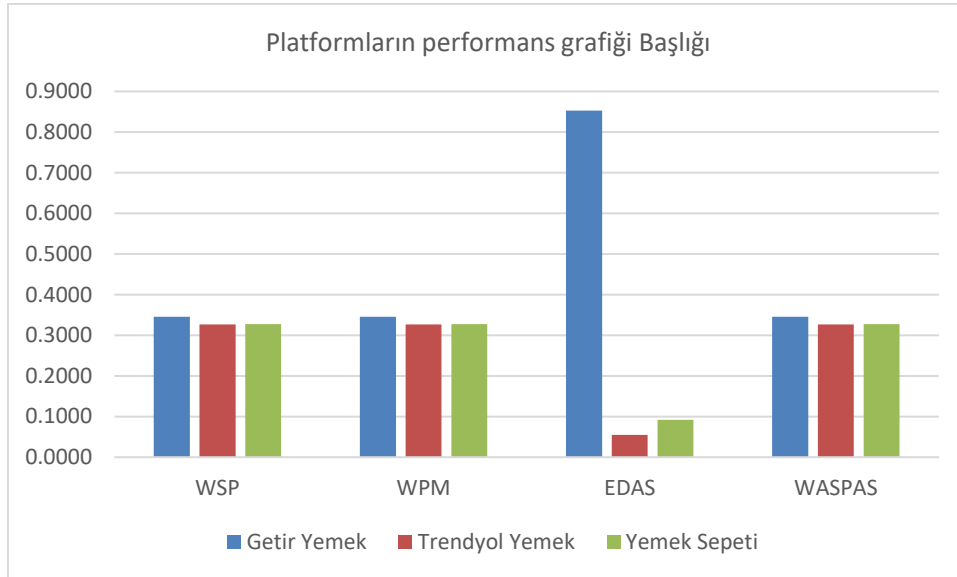
Tablo 7. WASPAS yöntemine göre sıralama.

	WSP	WPM	WASPAS	WASPAS Sıralama
Getir Yemek	0,9917	0,9905	0,9911	1
Trendyol Yemek	0,9391	0,9373	0,9382	3
Yemek Sepeti	0,9417	0,9399	0,9408	2



Şekil 4. WASPAS Yöntemine göre platformların performans grafiği.

Şekil 5 de her üç yönteme göre platformların performans grafiği gösterilmektedir. Grafikten anlaşıldığına göre Getir Yemek tüm yöntemlere göre 1. Sıraya yerleşmiştir. İkinci sıraya Yemek Sepeti ve Trendyol Yemek yerleşmiştir diyebiliriz. Çünkü grafiğe göre bu iki platformun aralarında bariz bir fark görülmemektedir.



Şekil 5. Platformların performans grafiği.

6. Sonuç ve Değerlendirme

İnternetin sağladığı pek çok imkân hayatımızı kolaylaştırmakta, sorunlarımıza pratik çözümler sunmaktadır. Hayatımızın vazgeçilmezleri arasında yer bulan internet, online işlemlerle para ve en önemlisi zaman tasarrufu sağlayarak zamanımızı yönetebilme imkânı vermektedir. Son yıllarda alışverişlerin online olarak yapılmasının artış göstermesine bağlı olarak online market alışverişi, online yemek siparişi gibi işlemlerde de artış görülmüştür. Bunun bir sonucu olarak ise online yemek siparişi hizmeti veren platformlar artmıştır.

Çalışmada online yemek siparişi hizmet platformları alternatiflerinin artması nedeniyle “Getir Yemek”, “Trendyol Yemek” ve “Yemek Sepeti” platformları ÇKKV teknikleri olan EDAS ve WASPAS yöntemleriyle değerlendirilmiştir. Kullanıcıların belirlediği kriterler, yine kullanıcıların değerlendirmeleri neticesinde LOPCOW yöntemi ile ağırlıklandırılmıştır. Analiz neticesinde en önemli kriterin C3 ile sembolize edilen “Yemeğin, işletmenin ve servisin hijyeni” kriteri olduğu anlaşılmaktadır. C3 kriterini C2 ile sembolize edilen “Yemeğin tadı ve lezzeti” takip etmiştir. İşletmenin internet sitesinin veya mobil

uygulamasının kullanım kolaylığı (C10) kriteri ise 3. sırada yer almıştır. K8 ile sembolize edilen “Yemek fiyatları, indirimler ve kampanyalar” kriteri ise sıralamada sonda yer almıştır.

Platformların performansları EDAS ve WASPAS yöntemi ile değerlendirilmiştir. Değerlendirme sürecinde platformlar 10 kritere göre 50 kullanıcı tarafından puanlanmıştır. Kullanıcılar, 1-9 skalasında platformlara puan vermişlerdir. Kullanıcıların verdikleri puanların aritmetik ortalaması alınarak başlangıç karar matrisi oluşturulmuştur. Oluşturulan karar matrisi temel alınarak EDAS ve WASPAS yöntemi uygulanmıştır. Her iki yönteme göre yapılan analizler neticesinde “Getir Yemek” platformunun en iyi performansı gösterdiği anlaşılmaktadır. İkinci sırayı “Yemek Sepeti” alırken son sırada “Trendyol Yemek” yer almıştır.

Bu çalışma ile değerlendirme kapsamında yer alan platform yöneticilerine rakip ve kendi platformlarının durumu hakkında ayna tutulmaktadır. Çalışma neticesinde performansı düşük platformların rakipleriyle yarışabilmesi için özellikle “Yemeğin tadı ve lezzeti (C2)”, “İşletmenin internet sitesinin veya mobil uygulamasının kullanım kolaylığı (C10)” ve “Besinlerin tazeliği ve güvenliği (C1)” gibi kriterlere daha çok önem vermesi gerektiği görülmektedir.

Online yemek sipariş hizmet platformları üzerinde ileride çalışma yapmak isteyen akademisyenlerin farklı ÇKKV yöntemlerini ve farklı kriterleri sürece dahil ederek değerlendirme yapması mümkün olabilir. Bu süreçlerde kriter ağırlıkları farklı yöntemler kullanarak yeniden düzenlenebilir ve online yemek sipariş hizmet platformlarının performansları ölçülebilir. Ayrıca duyarlılık analizi yapılarak kriterlerin sürece ne derecede etkilerinin olduğu ortaya konabilir.

Kaynaklar

- [1] M. Kılıçalp, and O. N. Özdoğan, “Paket Yemek Siparişlerinde Çevrimiçi Aracı Kullanan Tüketici Davranışlarının Genişletilmiş Teknoloji Kabul Modeliyle Araştırılması”, *Uluslararası Güncel Turizm Araştırmaları Dergisi*, vol. 3, no.2, pp. 148-163, 2019.
- [2] K. T. Ateş, Analysis of Factors Affecting Density of Vaccine Centers by Fuzzy ELECTRE I Method. *International Scientific and Vocational Studies Journal*, vol. 5, no. 2, pp. 182-191, 2021.
- [3] E. G. Polat, Multi-Criteria Analysis of Site Selection for Pasture Improvement: Provincial Example. *International Scientific and Vocational Studies Journal*, vol. 6, no. 1, pp. 1-12, 2022.
- [4] C. Kahraman, U. Cebeci, and R. Ruan, “Multi-Attribute Comparison of Catering Service Companies Using Fuzzy AHP: The Case Of Turkey”, *International Journal of Production Economics*, vol. 87, pp. 171-184, 2004.
- [5] N. Çitli, “Bulanık Çok Kriterli Karar Verme”, (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, FBE, İstanbul, 2006.
- [6] E. Aytaç, A. Işık, and N. Kundakçı, “Fuzzy ELECTRE I Method for Evaluation Catering Firm Alternatives”, *Ege Akademik Bakış Dergisi*, vol. 11, Özel Sayı, pp. 125-134, 2011.
- [7] G. Pigatto, J. G. C. F. Machado, A. S. Negretti, and L. M. Machado, “Have You Chosen Your Request? Analysis of Online Food Delivery Companies In Brazil”, *British Food Journal*, vol. 119, no 3, pp. 639-657, 2017.
- [8] Y. K. Fu, “An Integrates Approach to Catering Supplier Selection Using AHP-ARAS-MCGP Methodology”, *Journal of Air Transport Management*, vol. 75, pp. 164-169, 2019.
- [9] A. Öztürk, “Fast Food Restoranların Tercih Edilmesinde Etkili Olan Faktörlerin AHS Metodu İle Önceliklendirilmesi”, *MANAS Sosyal Araştırmalar Dergisi*, vol. 8, no, 3, pp. 2679-2695, 2019.
- [10] M. İkinci, “Hazır Yemek Sektöründe Analitik Hiyerarşi Süreci Yöntemi ile Tedarikçi Seçimi: Bursa Örneği”. Yüksek Lisans Tezi, Bursa 2019.
- [11] S. Arslankaya, “Catering Company Selection With Fuzzy AHP, ELECTRE and VICOR Method for a Company Producing Trailer”, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, no. 18, pp. 413-423.
- [12] N. B. T. Nguyen., G.H. Lin, and T. T. Dang, “Fuzzy Multi-Criteria Decision -Making Approach for Online Food Delivery (OFD) Companies Evaluation and Selection: A Case Study in Vietnam”, *Processes*, vol. 9, no. 8, pp. 1274, 2021.

- [13] V. Gupta, and S. Duggal, "How The Consumer's Attitude and Behavioural Intentions Are Influenced: A Case of Online Food Delivery Applications In India", *International Journal of Culture, Tourism and Hospitality Research*, vol.15, no 1, pp. 77-93, 2021.
- [14] H. U. Ajijipura Shankar, U. K. Kodipalya Nanjappa, M. D. Alsulami, and B. C. Prasannakumara, "A fuzzy AHP-fuzzy TOPSIS urged baseline aid for execution amendment of an online food delivery affability", *Mathematics*, vol. 10, no. 16, pp. 2930, 2022
- [15] A. Ulutaş, "SWARA ve MAIRCA Yöntemleri İle Catering Firması Seçimi", *Business & Management Industry Studies: An International Journal*, vol. 7, no. 4, pp. 1467-1479, 2019.
- [16] G. Erdoğan, Mobil yemek siparişi uygulamalarında müşteri tatminini etkileyen faktörler. *İşletme Araştırmaları Dergisi*, vol. 14, no. 4, pp. 2771-2784,2022.
- [17] A. Erdem, Mobil Yemek Siparişi Uygulamalarının Tercih Edilme Kriterlerinin Analizi. *Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi SBE Dergisi*, vol. 13, no. 4, pp. 2449-2462,2023.
- [18] M. Keshavarz Ghorabae, E. K. Zavadskas, L. Olfat, L., and Z. Turskis "Multi-criteria inventory classification using a new method of evaluation based on distance from average solution (EDAS)", *Informatica*, vol. 26, no. 3, pp. 435-451, 2015.
- [19] A. Özbek, Türkiye'deki İllerin Edas ve WASPAS Yöntemleri ile Yaşanabilirlik Kriterlerine Göre Sıralanması. *Kırıkkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, vol. 9, no. 1, pp. 177-200,2019.
- [20] F. Ecer, and D. Pamucar, "A novel LOPCOW-DOBI multi-criteria sustainability performance assessment methodology: An application in developing country banking sector", *Omega*, vol. 112, pp. 102690, 2022.
- [21] F. Ecer, F., H. Küçükönder, S. K. Kaya, and Ö. F. Görçün. Sustainability performance analysis of micro-mobility solutions in urban transportation with a novel IVFNN-Delphi-LOPCOW-CoCoSo framework. *Transportation research part a: policy and practice*, vol. 172, pp. 103667. 2023
- [22] A. Özbek, "Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ve Excel ile Problem Çözümü", 3. baskı, Seçkin Yayıncılık, Ankara, 2021.
- [23] A. Özbek, and M. Engür, "EDAS Yöntemi ile Lojistik Firma Web Sitelerinin Değerlendirilmesi". *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Meslek Yüksekokulu Dergisi*, vol. 21, no. 2, pp. 417-429, 2018.
- [24] A. Özbek, and M. Ghouchi. Finansal oranları kullanarak havayolu şirketlerinin performans değerlendirmesi. *International Journal of Engineering Research and Development*, vol. 13, no. 2, pp. 583-599, 2021.

Eccentricity Fault in Induction Motors Using Statistical Process Control Method

Emrah Eser^{a,1}, Zafer Dogan^b

^a Electrical Department, Niksar Vocational School Tokat Gaziosmanpaşa University, Tokat, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-9325-0767

^b Electrical and Electronics Engineering, Tokat Gaziosmanpaşa University, Tokat, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-7953-0578

Abstract

Induction motors are the most commonly used electric motors in the industry. The main reasons for choosing induction motors are their robust structure and low maintenance requirements. However, the harsh working conditions of the industry cause motor faults. Predicting motor faults in advance or determining the cause of fault is very important for businesses. In this study, an attempt was made to detect the eccentricity fault of the induction motor with a cheap and easy method. The eccentricity fault, which is a mechanical fault and is frequently encountered, was tried to be determined by monitoring the motor current signals. The motor current signals were analyzed with the statistical process control method from statistical methods. For the first time, with this study, the eccentricity fault occurring in an induction motor operating under different speed conditions was successfully detected with the statistical process control method.

Keywords: “Eccentricity fault, statistical process control, induction motors.”

1. Introduction

Electric motors are one of the most important drive elements of the industry[1]. It is used very intensively in household applications. In addition to its intensive use, electric motors have an important place in electrical energy consumption in the world with a rate of 45%. Induction Motor (IM) stands out as the most preferred motor of the industry and therefore the most energy consuming motor. IMs are preferred due to their robust and simple structures, not requiring much maintenance and being able to travel on their own [2], [3].

IMs, which are used extensively in the industry, operate under many challenging effects. In addition to effects such as unbalanced load formation, ripples in supply voltage, environmental effects such as dusty, humid and hot environment cause both electrical and mechanical faults in IM. Electrical faults seen in these motors are stator winding fault, rotor rod and ring broken faults, mechanical faults are bearing faults and eccentricity faults(EF) [4].

After the IM malfunctions, it can continue to operate in the system. However, the malfunctioning IM operates with low efficiency. In addition to causing an increase in costs, the malfunctioning IM may also cause the business to stop if the malfunction progresses. Unplanned stops will cause time, economic and quality losses [5], [6].

Condition monitoring techniques are used to identify and prevent faults occurring in engines before they grow. The operation of the engine can be monitored continuously or intermittently and with condition monitoring techniques, maintenance time can be determined in advance or faults can be prevented before they grow. During condition monitoring in IM, vibration, acoustic, chemical, magnetic, thermal and electrical data are collected and processed. Especially current signal data collection from electrical data is highly preferred in condition monitoring due to its ease of collection and being the most economical method [7], [8].

The signals obtained through condition monitoring are analysed using time, frequency and time-frequency methods, thus extracting the characteristics of the signals and performing fault detection. Time dimensional analyses allow direct fault detection from raw data, do not require additional mathematical operations and enable the process to be completed quickly. For this reason, time dimensional analysis methods have been widely preferred in the literature and motor faults have been detected by using statistical properties of signals such as mean, peak value and kurtosis [9], [10].

¹ Corresponding Author
E-mail Address: emrah.eser@gop.edu.tr

Statistical Process Control (SPC), a statistical analysis method in time dimension, is widely used in many engineering fields. SPC is a statistical technique developed to improve quality, detect defects and optimise process efficiency in production systems. One of the most frequently used analysis tools within the scope of this method is control charts. In control charts, the lower and upper limits drawn parallel to the X-axis determine the quality working range and the process is monitored with these charts. Thus, negative situations in the process can be detected and intervened early [11], [12].

In this study, condition monitoring is performed based on IM current data and it is aimed to detect the fault onset moment and to monitor the fault development process with the SPC method in time dimension. This method makes it possible to detect faults in advance without experiencing involuntary stops in IMs used in the industry, thus enabling faults to be diagnosed in a short time. In this way, productivity losses due to failures will be reduced and maintenance costs will be reduced. In this study, the static EF of the IM is analysed by SPC method. The EF is analysed under different load constant speed and constant load different speed conditions, in two different operating states and two different power ratings. The EF was artificially induced in the motor and the IM current signal data obtained from the experimental setup were collected for the intact and faulty conditions. With the intact condition data, the quality operating ranges of the SPC were calculated and graphs were created. The data obtained from the IM with EF were processed on the quality operating range and the time of occurrence and presence of the fault were determined.

2. Induction Motors

Among the electric motors, IMs are the most preferred by the industry with a rate of 90%. The advantages of IM such as cheap price, simple structure, low maintenance requirement and self-propelled are among the reasons why IM is preferred. IM consists of stator, rotor, body, bearings and covers. Although the stator is mechanically fixed, it creates a rotating magnetic field with the current applied to its windings. The rotor rotates mechanically with the help of short-circuit currents flowing under the influence of the voltage induced in the windings or rotor rods. The fact that it has a structurally simple structure also emphasises the robustness of IMs. Although they have a robust structure, these motors operating under harsh operating conditions may fail involuntarily [2], [3], [13].

3. Faults in Electrical Machines

IMs operating under severe operating conditions are exposed to mechanical and electrical faults due to their structure. IM faults, which are basically categorised under two headings, are shown in the fault diagram given in Fig. 1.

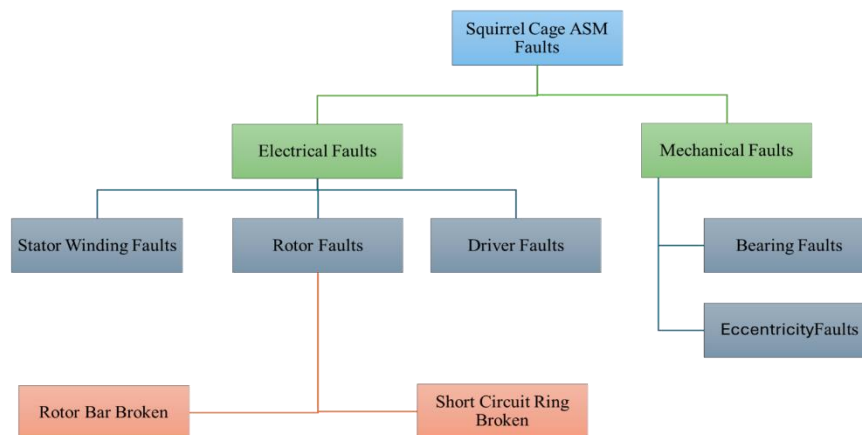


Fig. 1. IM faults.

Electrical faults seen in IMs are categorised into 3 groups and constitute 48% of the total faults [14]. The main effects causing mechanical faults are non-axialisation of the load and the motor, unbalanced and overload conditions, dust and lubrication faults [15]. While bearing faults develop over time, EF can occur even at the time of initial assembly. In this study, the detection of EF is studied.

3.1. Eccentricity Faults

In IM, the relationship between the stator and the rotor is provided through the air gap and the power transmission is carried out as a magnetic field through the gap. Eccentricity is the condition of unequal distribution in the air gap [4], [15]. EFs can

occur later or at the time of initial production. Manufacturers have determined the margin of error as 5% -10% and produce with this precision. Bending of the motor shaft, slipping of the connection couplings between the motor and the load from the axis and wear of the bearings cause EFs [17], [18].

In case of EF, there are disturbances in the flux generated in the air gap. Increase in flux amplitude, instability in motor input currents, increase in torque ripple and decrease in average torque, temperature increase are among the consequences of EF. The growth of EF results in the rotor rubbing against the stator [19], [20].

EFs are divided into three as static EF, dynamic EF and mixed EF. The constant slip between the stator axis and the rotor axis is defined as static EF. The unbalanced forces caused by this fault create a constant thrust in one direction. Static EF occurs when the stator or rotor cores are not perfectly round but oval and the centres of the stator and rotor axes are not exactly coincident. In case of dynamic EF, the slip between the stator axis and rotor axis is mobile. In mixed EF, both (static + dynamic) EF are observed together [21], [22].

EFs can be detected by analysing current and voltage signals. When the spectra of current and voltage signals are examined, it is seen as sideband. The location of the EF in the sideband is calculated by Equation 1 [19], [22].

$$f_{MF} = \left[1 \pm \left(\frac{2k-1}{p} \right) \right] f_e \quad (1)$$

Here f_{MF} is the EF frequency, $k = 0, 1, \dots, n$ is a fixed value, p is the motor pole pair, f_e is the motor electrical supply frequency.

4. Fault Detection Methods in IM

IM faults cause great losses due to the places where they are used. In the industry, condition monitoring methods are developed to prevent these faults and to identify the fault in a short time. With condition monitoring methods, it is possible to detect the fault in advance and shorten the maintenance time. Many signals and data such as vibration, electromagnetic field, induced voltage, air gap electromagnetic moment, thermal and current signal monitoring are analysed to detect IM faults [14], [23].

Among these methods, monitoring of motor currents is one of the most preferred methods due to the need for cheap materials, easy acquisition and ease of installation. There are three main causes of harmonics in current signals. These are supply source and production errors and faults in the motor. According to the type of faults occurring in the motor, stator current signals create harmonics. Especially mechanical failures such as bearing and EF etc. disrupt the flux distribution in the air gap. Distortion of the flux distribution causes the motor inductance value to change and this causes harmonics in motor currents [14], [24].

4.1. Signal Processing Methods Used in Fault Detection

In order to characterise a system or material, it is necessary to extract its properties. In electric motors, fault detection is performed by extracting the characteristics of the data obtained. The most preferred methods of feature extraction for fault detection in electric motors are frequency dimensional analysis, time-frequency dimensional analysis and time dimensional analysis [25], [26]. The simple acquisition of time domain signals makes the method easy and inexpensive. According to the characteristics of the signals analysed in time dimension, their characteristics are extracted by using statistical analysis methods. Many statistical parameter values such as kurtosis, variance, skewness, mean value and standard deviation are obtained and used in fault detection of electric motors [27].

Especially in the industry, SPC, in which statistical parameters are analysed, is preferred in order to increase the quality and to monitor the process in the wear of machine parts. In this study, SPC is used to monitor the engine operation process and to detect the malfunction

4.2. Statistical Process Control

SPC is widely used in manufacturing processes to improve quality, detect faults and make the process run even more efficiently. The system is realised by analysing data such as vibration, number of defects, weight, power and current collected during the working process [11], [12]. While performing process control with this method, there is no need for continuous monitoring. Data sets are created with periodic or random measurements and the process is evaluated. The samples created by measurements reveal the changes in the process and consequently the defects in the product. SPC analyses the relationship between the product and the process [28], [29].

Some techniques such as tally, pareto analysis and control charts are used to identify and analyse the problems that may occur in the process and to examine the data needed [29]. Control charts analyse a process containing control limits by processing the data obtained. While changes due to natural causes remain within the limits, changes in the process due to special causes result in exceeding the limits. Problems are solved by determining the time and the special causes in the process [30]. The sample control graph is shown in Fig. 2.

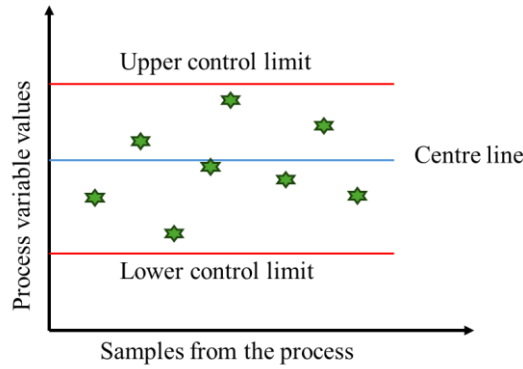


Fig. 2. Control chart.

SPC graphs provide visual information about the system. Upper and lower control limits are created with the data received from the robust system and then the collected data is processed. When an out of limits or unusual operation is detected, the system is stopped or the error is eliminated during operation. Visual examination of the process with control charts enables easy detection of errors. The system is continuously monitored by processing the data received from the system [30], [31].

While creating the control charts, the mean \bar{X} and the difference in the process (R) values and the standard deviation values (S), which examine the mean values (\bar{X}) and subgroup changes, are evaluated. $\bar{X} - S$ control charts are preferred in data sets with a larger sample volume. Both graphs are analysed together when evaluating the operation of the process. Long-term changes in the process are seen in \bar{X} control graphs and short-term changes in S control graphs [11]. The analytical average of the data taken from the system, \bar{X} and the central line $\bar{\bar{X}}$ are calculated as in Equation 2 and Equation 3.

$$\bar{X} = \frac{\sqrt{\sum_{i=0}^n (x_i)}}{n} \quad (2)$$

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\sqrt{\sum_{i=0}^m (\bar{X}_i)}}{m} \quad (3)$$

Here, the sample taken from the system is expressed as x_i , the number of groups of the sample is expressed as m and the number of samples in a group is expressed as n .

S the centre line and the lower and upper limits of the S control charts;

$$S = \frac{\sqrt{\sum_{k=0}^n (x_i - \bar{x})^2}}{n - 1} \quad (4)$$

$$\bar{S} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (S_i) \quad (5)$$

$$UCL_S = B_4 \bar{S} \quad (6)$$

$$CL_S = \bar{S} \quad (7)$$

$$LCL_S = B_3 \bar{S} \quad (8)$$

The standard deviation value calculated for each of the sample groups is expressed as S and the mean value of all of them is expressed as \bar{S} . B_3 and B_4 values can be taken from the control charts table for different subgroup numbers [11]. The \bar{S} value is used when calculating the central line and limits of the average control graphs created to examine the long-term errors that will occur in the system.

$$UCL_X = \bar{\bar{X}} + A_3\bar{S} \tag{9}$$

$$CL_X = \bar{\bar{X}} \tag{10}$$

$$LCL_X = \bar{\bar{X}} - A_3\bar{S} \tag{11}$$

Here A_3 represents a factor value used to organise the variable quantity control graphs.

5. Experimental Study

In order to perform accurate fault detection in electric motors, current signals must be reliable. In this study, the experimental setup to generate the data set is designed for precise data collection. The schematic and experimental setup designed for fault detection is shown in Fig. 3.

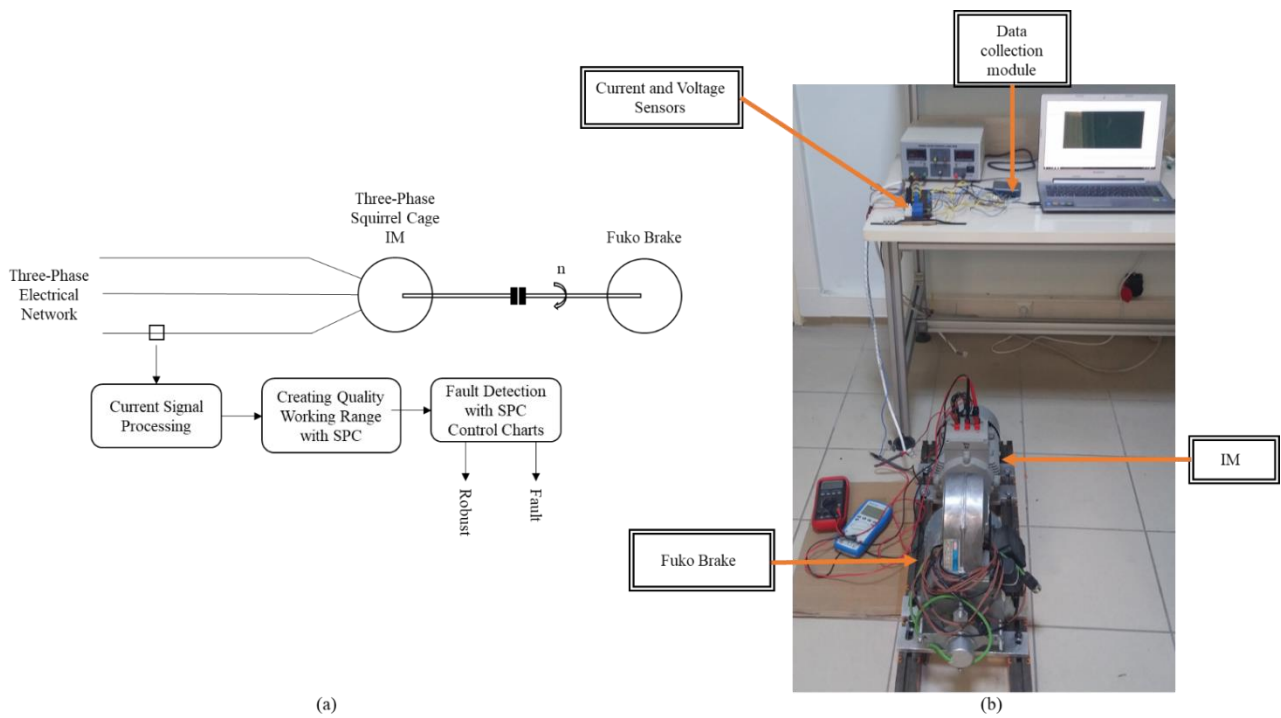


Fig. 3. (a) Experimental schema; (b) Experimental set-up.

For fault detection, intact and faulted state data were obtained from two identical IMs. As shown in Fig. 3, the experimental set consists of IM, Data acquisition module, Current and Voltage sensors, Fuko Brake and Motor driver. The parameter values of the IM used are given in Table 1.

Table 1. IM parameters.

Parameter	Value	Unit
Power	750	W
Frequency	50	Hz
Voltage	220/400 (Δ/Y)	V
Current	2.90/1.67 (Δ/Y)	A
Speed	2805	d/d
cos φ	0.84	
Number of poles	2	

In this study, the operating conditions of the IM at different speed values are analysed and fault detection is performed. EF can be caused by the connection between the motor and the load. Considering this situation, although the motor was operated without load, its connection with the fuko brake was realised. The fact that the motor and the load are on the same axis ensures that the targeted EF signal is obtained precisely. A laser axing device was used to axialise the motor and the load. The laser axis device is shown in Fig. 4.



Fig. 4. Laser axising device.

As shown in the figure, the laser axis device is connected between the motor and the load with the connection elements. After the connection is completed, the measurement is performed and according to the result, the motor or load side is adjusted in x or y axes. After the load and the motor shafts are axialised the same, the fixing process is performed.

The current signal data of the IM were recorded to the computer with the data acquisition module. The data acquisition module used has 16*bit resolution and collects data simultaneously with a sampling rate of 50ks/sec and records it in a virtual environment via software. Data collection operations were performed for 5000 Hz sampling robust and EK failures. The motor was operated at 3 different speeds of 1000 rpm, 2000 rpm and 2991 rpm and data sets were created.

In order to create the situation with EF, the bearing of the IM was replaced and a new bearing was installed. Instead of the removed bearing, a bearing with the same inner diameter and smaller outer diameter was designed. A separate material called *baga* was mounted on the outside of the new bearing and the shaft was shifted to one side in a fixed direction from the axis. The bearings used to create this assembly EF are given in Fig. 5.

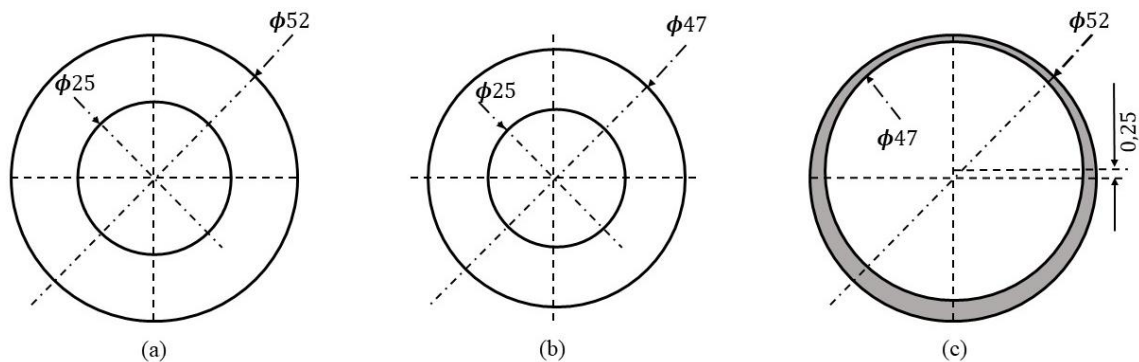


Fig. 5. Bearing shapes used in the creation of the EF (a) IM original bearing; (b) New bearing; (c) Baga.

The following steps were followed in the experimental study and fault diagnosis applications:

Step 1: Collecting the signal data of the motor currents from the intact and EF motors,

Step 2: Robust and EF data sets were prepared and statistically analysed,

Step 3. SPC graphs are generated and diagnosed.

While processing the collected current signal data, the data taken in periods were divided into sample groups. The maximum values of the sinusoidal signals were determined and SPC graphs were created.

5.1. Results and Discussion

In this study, the EF of the IM is tried to be detected by the proposed SPC method. In the proposed fault detection method, it is aimed to determine the EF by comparing the intact and faulty current signal data. Quality control cards were created with the current signal data set obtained from the intact IM. The fault is detected by adding the current signal data from the faulty IM to the process of the control cards. IM current signal is shown in Fig. 6.

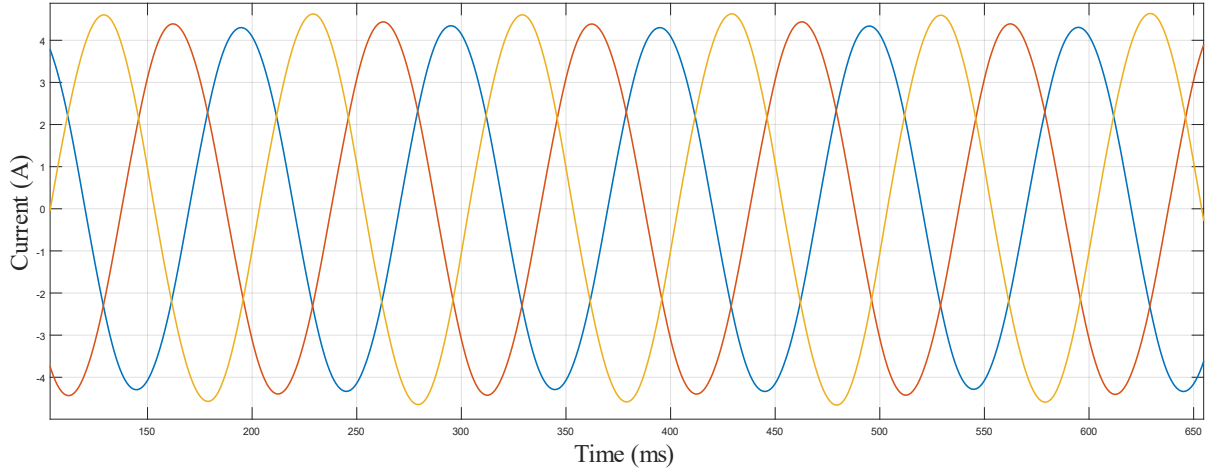


Fig. 6. Three-phase IM current signal.

Data sets were created with 50 peak values taken at 10 different times for intact and faulty conditions. The 750 W IM controlled by the driver was operated in 3 different speed states. The speed control of the motor is provided by a voltage frequency (V/f) controlled driver. In order to have 500 peak values in the data sets in healthy and faulty conditions, the IM was operated for 15.5 s at 1000 rpm, 7.75 s at 2000 rpm and 5 s at nominal speed and current signal data were recorded.

The current signal data of the IM in healthy and faulty conditions were collected at 1000 rpm and analysed with SPC. The generated and control graphs are shown in Fig. 7.

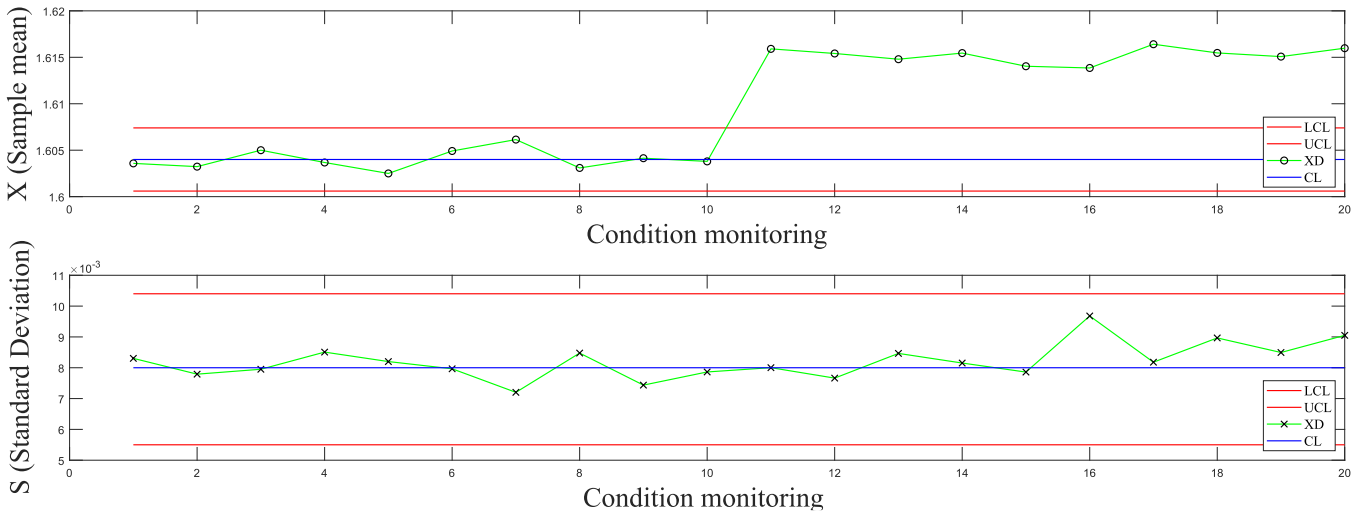


Fig. 7. 1000 rpm speed \bar{X} -S control charts.

Table 2. Limit values of \bar{X} -S control graphs at 1000 rpm speed.

	LCL	CL	UCL
\bar{X}	1,6006	1,6040	1,6074
S	0,0055	0,0080	0,0104

When the control graphs in Fig. 7 are examined, it is seen that the process is normal until the 10th state monitoring moment, that is, the motor is intact. However, when the current signal data of the motor in the faulty state is included in the process from

the 11th state monitoring moment, especially in the \bar{X} control chart, the change is noticeable. It is clearly seen that the limits shown in Table 2 are exceeded. Since EF is continuous, S , which determines short-term faults, could not be clearly detected in the control charts. However, it is determined that there is deterioration in the process from the 16th state monitoring moment.

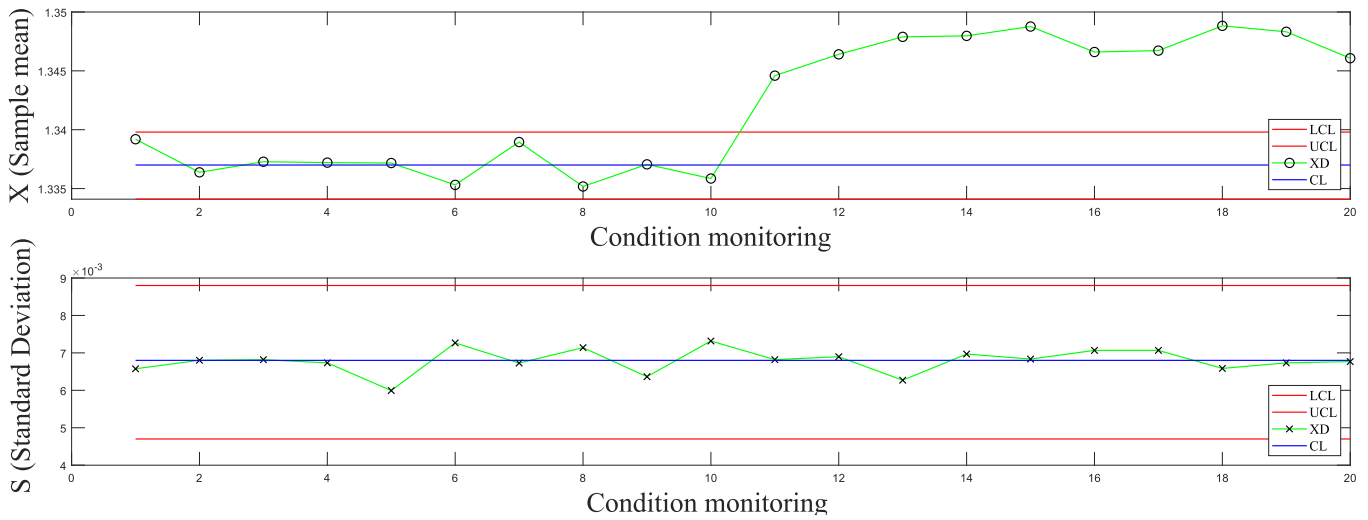


Fig. 8. 2000 rpm speed - control graphs.

Table 3. 2000 Limit values of \bar{X} -S control graphs at 1000 rpm speed.

	LCL	CL	UCL
\bar{X}	1,3341	1,3370	1,3398
S	0,0047	0,0068	0,0088

As seen in Fig. 8, it is seen in the \bar{X} control chart that EF occurs in the process from the 11th state monitoring moment. However, in the S control chart, it is seen that the process proceeds normally. In order to say that there is no fault in the control graphs, both control graphs should exhibit normal behaviour. Especially after the 11th state monitoring moment of the \bar{X} control graph, it is seen that the limits given in Table 3 are exceeded.

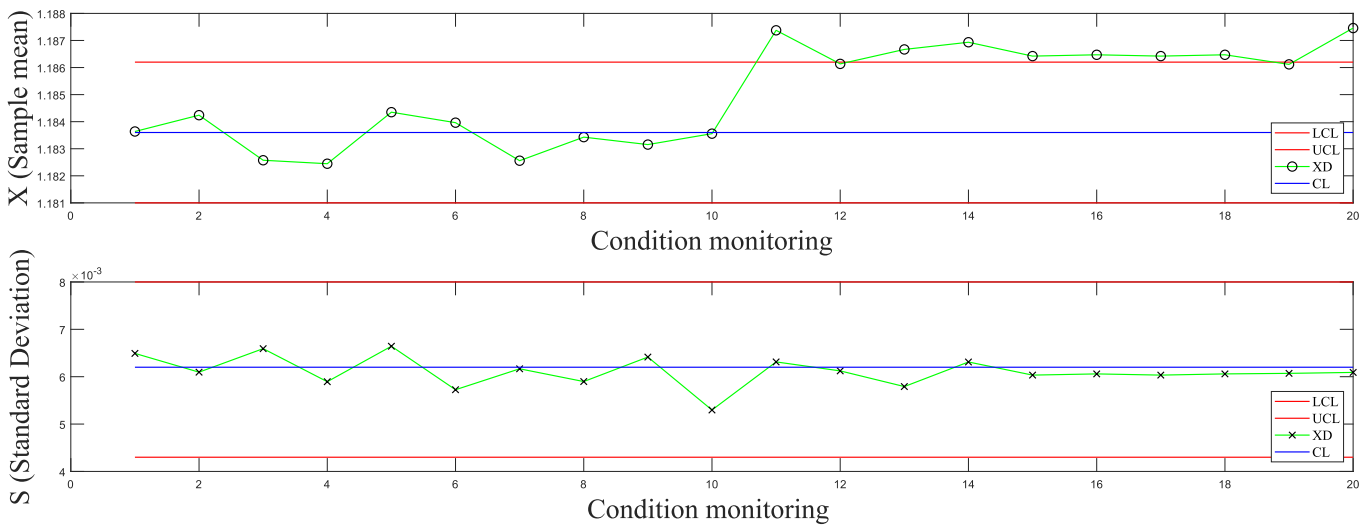


Fig. 9. 2991 rpm speed - control graphs.

Table 4. Limit values of \bar{X} -S control graphs at 2991 rpm speed.

	LCL	CL	UCL
\bar{X}	1,1810	1,1836	1,1862
S	0,0043	0,0062	0,0080

When Fig. 9 is analysed, it is seen that the UCL value given in Table 4 is exceeded in the \bar{X} control chart starting from the 11th monitoring moment. In the continuation of the process, although it is entered into the range of control limits at the 12th and

19th state monitoring moments, it does not mean that the out-of-control situation in the process has improved. In the S control chart, it is determined that the process continues below the CL starting from the 15th state monitoring moment and 6 state monitoring moments occur here. This situation shows that there is an out of control situation and the process continues out of the ordinary. EF was also detected at 2991 rpm speed.

6. Conclusion

In this study, the EF of the IM was determined by SPC over the current signal data. Intact and faulty data sets were created with current signals taken at random times from the IM. With the intact data sets, process control was performed over the control graphics. In the continuation of the process, the current signal data received with EF were processed into control graphs. EF was clearly detected on the control graphs. With the study carried out, the detection of the EF of the IM has been used for the first time in the literature. With the results obtained, fault detection in IM has been obtained easily and inexpensively. The studies and control graphs reveal the success of the fault detection method.

References

- [1] M. M. Tezcan and A. S. Akyurt, "Transforming of Conventional Type Squirrel Cage Induction Motor to Permanent Magnet Synchronous Motor for Improving Efficiency on Industrial Applications," *Int. Sci. Vocat. Stud. J.*, vol. 6, no. 1, pp. 32–40, Jun. 2022, doi: 10.47897/BILMES.1129634.
- [2] M. Akar, A. Fenercioğlu, M. Soyaslan, (2011). "Asenkron Motorlarda Rotor Çubuğu Kırık Arızasının Elektromanyetik Tork ile Tespiti". In 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11) (pp. 142-146).
- [3] A. Ünsal and S.Güçlü,. "Asenkron Motorlarda Rotor Çubuğu Kırıklarının Mann-Whitney U-Testi İle İncelenmesi." *Journal of Science and Technology of Dumlupınar University*, (2015),pp.(035), 79-92.
- [4] K. V. Kumar, S. S. Kumar, B. Praveena, J. P. John, and J. E. Paul, "Soft computing based fault diagnosis," 2010 2nd Int. Conf. Comput. Commun. Netw. Technol. ICCCNT 2010, 2010, doi: 10.1109/ICCCNT.2010.5591631.
- [5] P. Vas, "Parameter Estimation, Condition Monitoring, and Diagnosis of Electrical Machines," *Param. Estim. Cond. Monit. Diagnosis Electr. Mach.*, Feb. 1992, doi: 10.1093/OSO/9780198593751.001.0001.
- [6] E. Eser, Z. Doğan, "Asenkron Motorlarda Rotor Çubuk Kırığı Arızasının İstatistiksel Proses Kontrol Metodu İle Tespiti.," 2. Uluslararası Mühendislikmimarlık Ve Tasarım Kongresi, 2017.
- [7] M. Eftekhari, M. Moallem, S. Sadri, and A. Shojaei, "Review of induction motor testing and monitoring methods for inter-turn stator winding faults," 2013 21st Iran. Conf. Electr. Eng. ICEE 2013, 2013, doi: 10.1109/IRANIANCEE.2013.6599713.
- [8] W. F. Godoy, I. N. Da Silva, A. Goedel, and R. H. Cunha Palácios, "Evaluation of stator winding faults severity in inverter-fed induction motors," *Appl. Soft Comput.*, vol. 32, pp. 420–431, Jul. 2015, doi: 10.1016/J.ASOC.2015.03.053.
- [9] S. Günal, D. Gökhan Ece, and Ö. Nezhik Gerek, "Induction machine condition monitoring using notch-filtered motor current," *Mech. Syst. Signal Process.*, vol. 23, no. 8, pp. 2658–2670, Nov. 2009, doi: 10.1016/J.YMSSP.2009.05.011.
- [10] E. Cabal-Yopez, R. A. Osornio-Rios, R. J. Romero-Troncoso, J. R. Razo-Hernandez, and R. Lopez-Garcia, "FPGA-based online induction motor multiple-fault detection with fused FFT and wavelet analysis," *ReConFig'09 - 2009 Int. Conf. ReConFigurable Comput. FPGAs*, pp. 101–106, 2009, doi: 10.1109/RECONFIG.2009.9.
- [11] T. Staphenhurst, "Mastering statistical process control," *Mastering Stat. Process Control*, pp. 1–455, May 2013, doi: 10.4324/9780080479545.
- [12] B.Birgören, İstatistiksel kalite kontrolü. Nobel Akademik Yayıncılık. Ankara, (2015).
- [13] M. E. H. Benbouzid, "A review of induction motors signature analysis as a medium for faults detection," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 47, no. 5, pp. 984–993, 2000, doi: 10.1109/41.873206.
- [14] K. S.Gaeid and H. A.Mohamed,. "Diagnosis and fault tolerant control of the induction motors techniques a review." *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 4(2), 227-246,(2008), doi:10.1016/j.jsv.2009.01.058

- [15] B.Kara, "Şebeke kalkışlı daimi mıknatıslı senkron motorda eksenden kaçıklık arızası teşhisi" , Master Thesis, Tokat Gaziosmanpaşa University, 2017.
- [16] M. Hajiaghajani, *Application of Pattern Recognition to Fault Diagnosis*. Taylor and Francis Group, 2017.
- [17] D. G. Dorrell, W. T. Thomson, and S. Roach, "Analysis of airgap flux, current, and vibration signals as a function of the combination of static and dynamic airgap eccentricity in 3-phase induction motors," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 33, no. 1, pp. 24–34, 1997, doi: 10.1109/28.567073.
- [18] Polat, A. "Asenkron Motorda Eksen Kaçıklığının Analizi, " Master Thesis, Istanbul Technical University, 2013.
- [19] M. Eker and M. Akar, "Eccentricity fault diagnosis in a permanent magnet synchronous motor under nonstationary speed conditions," *Turkish J. Electr. Eng. Comput. Sci.*, vol. 25, no. 3, pp. 1881–1893, Jan. 2017, doi: 10.3906/elk-1601-157.
- [20] S. Ben Salem, M. Salah, K. Bacha, and A. Chaari, "Experimental investigation of the eccentricity impact on the line current spectrum for induction motors fault diagnosis purposes," 2016 17th Int. Conf. Sci. Tech. Autom. Control Comput. Eng. STA 2016 - Proc., pp. 205–210, Jun. 2017, doi: 10.1109/STA.2016.7952070.
- [21] S. Nandi, H. A. Toliyat, and X. Li, "Condition monitoring and fault diagnosis of electrical motors - A review," *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 20, no. 4, pp. 719–729, Dec. 2005, doi: 10.1109/TEC.2005.847955.
- [22] B. Wang, C. Lin, H. Inoue, and M. Kanemaru, "Induction Motor Eccentricity Fault Detection and Quantification Using Topological Data Analysis," *IEEE Access*, vol. 12, pp. 37891–37902, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3376249.
- [23] Y. B. Koca and A. Ünsal, "Asenkron Motor Arızalarının Değerlendirilmesi," *J. Tech. Sci.*, vol. 7, no. 2, pp. 37–46, Jul. 2017
- [24] C.Kurien, and A. K. Srivastava, "Condition monitoring of systems in thermal power plant for vibration, motor signature, noise and wear debris analysis." *World Scientific News*, 31-43,2018.
- [25] B.Mulgrew, , P.Grant, , J.Thompson,. *Digital signal processing: concepts and applications.*, 2002. [E-book] Available: Google e-book..
- [26] G. Niu, X. Dong, and Y. Chen, "Motor Fault Diagnostics Based on Current Signatures: A Review," *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 72, 2023, doi: 10.1109/TIM.2023.3285999.
- [27] A.Bellini, , F.Filippetti, , C.Tassoni, , G. A.Capolino, "Advances in diagnostic techniques for induction machines." *IEEE Transactions on industrial electronics*, 55(12), 4109-4126, 2008, doi: 10.1109/TIE.2008.2007527
- [28] Yıldırım, H., and Karaca, E., "Üretim Sürecinde İstatistiksel Proses Kontrol (İpk) Uygulamaları Ve Elektronik Sektöründe Bir İnceleme" *Öneri Dergisi*, 10(39), 77-87, 2013, doi.org/10.14783/od.v10i39.1012000309.
- [29] S. Patır, "İstatistiksel Proses Kontrol Teknikleri Ve Kontrol Grafiklerinin Malatyadaki Bir Tekstil (İplik Dokuma) İşletmesinde Bobin Sarım Kontrolüne Uygulanması," *Sosyal Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 9(18), 231-250.
- [30] J. Niezgoda, "The use of statistical process control tools for analysing financial statements," *Folia Oeconomica Stetin.*, vol. 17, no. 1, pp. 129–137, 2017, doi.org/10.1515/fofi-2017-0010.
- [31] S. Maraş and H. Arslan, "Düz Dişli Çark Sistemindeki Aşınma Hatasının İstatistiksel Proses Kontrol Metodu İle Belirlenmesi," *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilim. Derg.*, vol. 20, no. 1, pp. 9–14, Jan. 2014, doi: 10.5505/PAJES.2014.28247.

The Importance and Economic Advantages of Using National Open Source Software in Public Institutions

Emine Yılmaz^{a,1}

^a Bandırma Onyedü Eylül University, Türkiye
ORCID ID: 0009-0001-8980-4835

Abstract

Open Source Software (OSS) stands out as a robust alternative in public institutions, offering significant advantages in terms of cost efficiency, independence, and security. This study examines the use of national open-source software in public institutions from economic, strategic, and operational perspectives, evaluating its contributions to digital transformation processes. Analyses of projects such as Pardus, Ahtapot, Engerek, and Liderahenk reveal that these solutions eliminate licensing costs, generate substantial budget savings, support the domestic software industry, and enhance technological independence. Moreover, these software solutions provide flexibility for customization based on user needs and strengthen data security. However, challenges such as infrastructure transformation costs, the need for technical expertise, and limited community support emerge as significant barriers to the implementation of open-source software. The study aims to contribute to informed decision-making in digitalization processes by offering strategic recommendations for the broader adoption of open-source software in public institutions.

Keywords: "Open-source software (OSS), public institution, economy."

1. Introduction

The rapid transformation in information and communication technologies has necessitated significant changes in the service delivery methods of public institutions. As part of the digitalization process, public institutions are expected to provide more efficient [1], transparent, and cost-effective solutions. In this context, Open Source Software (OSS) has emerged as a strong alternative to traditional proprietary software, offering innovative features and cost advantages.

The origins of the open-source software movement can be traced back to the 1960s. During this period, the "hacker" culture that emerged in the computer science laboratories of prominent American universities such as Stanford, Berkeley, Carnegie Mellon, and MIT, as well as in the research centers of private companies like Bell and Xerox, laid the foundation for the concept of open-source software. Within the framework of this culture, software source codes were openly accessible, and it was a fundamental principle that any improvements or modifications made to the software would be shared back with the developer community to ensure collective progress [2]. In addition to being freely accessible, modifiable, and redistributable, OSS provides strategic benefits such as technological independence, enhanced security, and flexibility. In addition, OSS contributes to the United Nations Sustainable Development Goals [3] by promoting digital public goods, increasing global access to technology, reducing inequalities through digital inclusion, and supporting innovation in a sustainable, transparent, and secure manner.

The adoption of national OSS in public institutions strengthens the state's information technology infrastructure and enhances the efficiency of digitalization processes. By promoting domestic software production, national software reduces dependency on foreign technologies and contributes to the national economy. These solutions offer public institutions cost-effective alternatives to commercial software. Moreover, the flexibility of open-source software allows users to modify and customize it according to institutional needs, enabling public institutions to undergo a more efficient, secure, and sustainable digital transformation process.

From an economic perspective, software costs can place a significant burden on public budgets. Today, open-source software is becoming increasingly popular due to its potential to eliminate licensing fees, reduce maintenance and update costs, and minimize external dependency. By lowering licensing and maintenance expenses, national OSS generates substantial savings for public budgets. Additionally, the widespread adoption of open-source solutions enhances competition in the software industry,

¹ Corresponding Author
E-mail Address: emineyilmaz06384@gmail.com

increasing domestic software development capacity. This growth not only supports local software firms but also fosters job creation and drives innovation. Consequently, national OSS not only provides economic benefits for public institutions but also strengthens Turkey's technological independence and contributes to the development of a globally competitive software sector.

This study examines the economic advantages and strategic contributions of national OSS in public institutions. While evaluating the solutions offered by OSS, the study provides a balanced analysis of its potential advantages and disadvantages. The findings aim to contribute to the development of strategies that promote the broader and more effective use of OSS in the digital transformation processes of public institutions. In this context, the research offers a comprehensive discussion on the economic, national security, and strategic aspects of national OSS adoption.

2. Open Source Software

Open Source Software (OSS) and proprietary software are the two main categories on which information technologies are often built. Software programs whose source code is not publicly accessible are typically referred to as proprietary software. Source code refers to the entirety of code used to create the foundation of software. This code is generally hidden within the application. If developers choose not to share their code, such programs are classified as proprietary. OSS, on the other hand, allows individuals and organizations to install, use, modify, and redistribute the software without paying the original creators, regardless of whether any changes have been made [4].

OSS refers to software whose code is freely shared and can be modified and redistributed by developers. Cost factors such as hardware expenses, direct and indirect software costs, and personnel expenses make OSS an attractive option. Additionally, OSS offers advantages such as low-cost adaptability across various domains, innovative and customizable features tailored to specific needs, enhanced information security, high performance, and extended service life. These attributes have contributed to the growing popularity of OSS among public institutions and private organizations today [5].

OSS provides users with freedom and flexibility, granting open access to its source code. Key features of OSS include:

- **Easy Access to Source Code:** The publicly available source code can be reviewed, redistributed, and modified by anyone.
- **Low Cost:** OSS is predominantly free or significantly cheaper compared to commercial software.
- **Freedom and Flexibility:** Users can freely distribute and customize the source code, contributing to the software's development.
- **Transparency and Security:** Since the code is open, its functionality is transparent, enabling rapid identification and correction of malicious code or security vulnerabilities.
- **Innovation:** The accessibility of the source code facilitates the continuous addition of new features and improvements by programmers, fostering ongoing innovation.

3. National Open Source Software Used in Public Institutions

National open-source software (OSS) is an essential tool designed to strengthen the state's technological independence and promote domestic software production. These software solutions offer strategic advantages such as low cost, flexibility, and security, playing a significant role in the digital transformation processes of public institutions.

Pardus, initiated theoretically by TÜBİTAK in 2003, is a Linux-based national operating system developed to meet the demands of SMEs and public institutions since 2004. ULAKBİM (National Academic Network and Information Center) continues to develop Pardus as Turkey's largest and most comprehensive open-source software project, aiming to make it competitive with commercial products and sustainable [5]. Pardus is currently used by various government ministries such as the Ministry of National Defense, Ministry of Interior, Ministry of Justice, and several local municipalities. The main areas where open-source software can be used within public institutions under the Pardus project are as follows:

3.1. Pardus

The Pardus is a Linux-based domestic operating system developed by TÜBİTAK (The Scientific and Technological Research Council of Turkey). The first version was released in 2003, and it continued development under the PİSİ infrastructure until 2011. In 2013, it was restructured based on Debian. Pardus is one of the largest open-source software projects in Turkey,

encouraging the development of open-source solutions for public institutions and SMEs [6]. Used for both desktop and server solutions, Pardus is particularly popular in public institutions and educational sectors. Today, the sustainability and competitiveness of Pardus contribute to the development of Turkey's software ecosystem. The basic features of Pardus software are given in Figure 1.

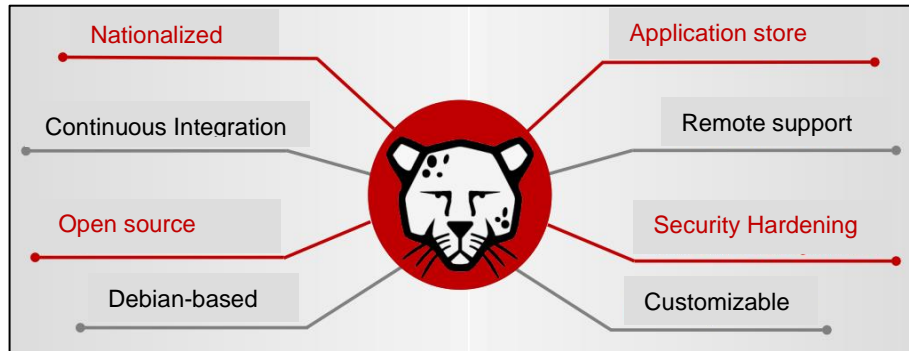


Fig. 1. Key Features of Pardus Software.

The primary features of Pardus are as follows:

- **Open Source:** Pardus is an open-source software, allowing users to freely use, distribute, and modify the software.
- **Linux-Based:** Built on the Linux kernel, Pardus benefits from the robust security features of Linux.
- **User-Friendly Interface:** Pardus provides a simple and intuitive desktop environment for easy user adaptation, compatible with desktop environments such as GNOME and Xfce.
- **Domestic Software Support:** Pardus is designed with Turkish language support and software solutions tailored to Turkey's specific needs.
- **Comprehensive Software Support:** Pardus supports widely-used Linux applications and provides most of the software users may need (office suites, graphic tools, internet browsers, etc.).
- **High Security:** Being Linux-based, Pardus has high security levels, offering protection from viruses and malware.
- **Customizability:** Users can make modifications to the system and create a personalized working environment.
- **Corporate Usage:** Pardus offers special support and installation tools for institutions, facilitating its use in both public and private sectors.

The general view of the Pardus desktop is given in Figure 2 above.

Pardus Use Cases:

- **Public Institutions:** Pardus is widely used in government institutions and public services, especially for reasons related to software independence and security.
- **Educational Institutions:** Schools and universities may use Pardus to promote open-source software usage in education.
- **Home Users:** Pardus is also suitable for non-technical users and can meet home users' basic needs such as internet browsing, media consumption, and office work.

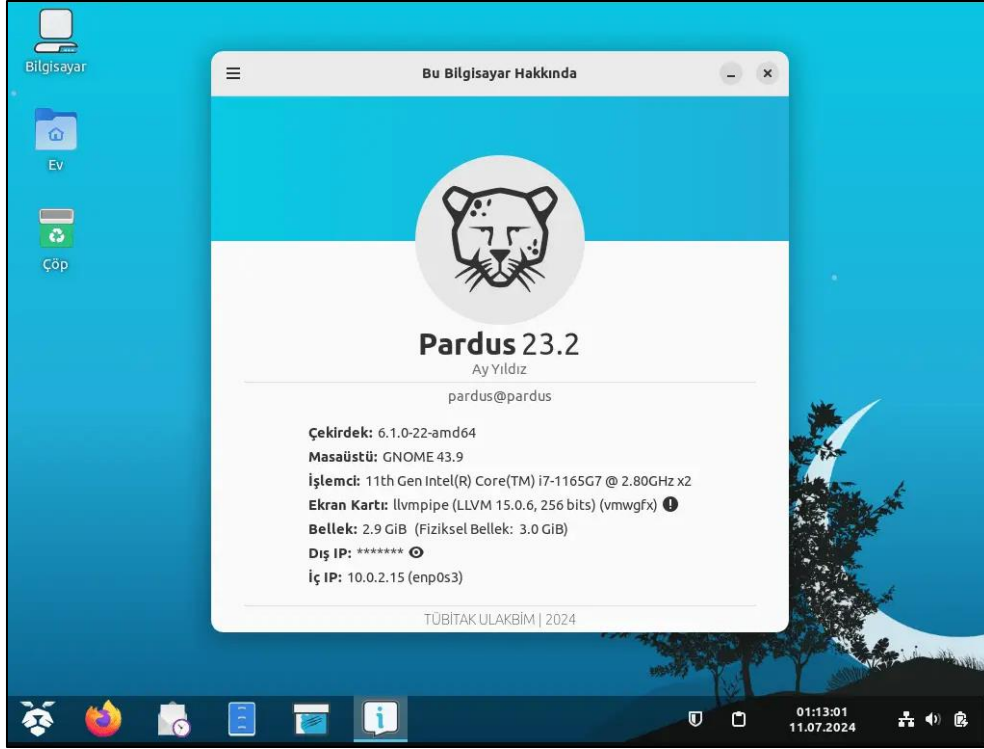


Fig. 2. General View of the Pardus Desktop.

3.2. Ahtapot Integrated Cybersecurity System

Ahtapot Integrated Cybersecurity System is an open-source security solution developed by TÜBİTAK ULAKBİM. Its main purpose is to ensure cybersecurity in public institutions and reduce dependency on foreign software. It is an open-source cybersecurity system project designed to be used by both private sector businesses and public institutions, running on the Pardus operating system. Below in Figure 3 are the basic features of the Octopus software.

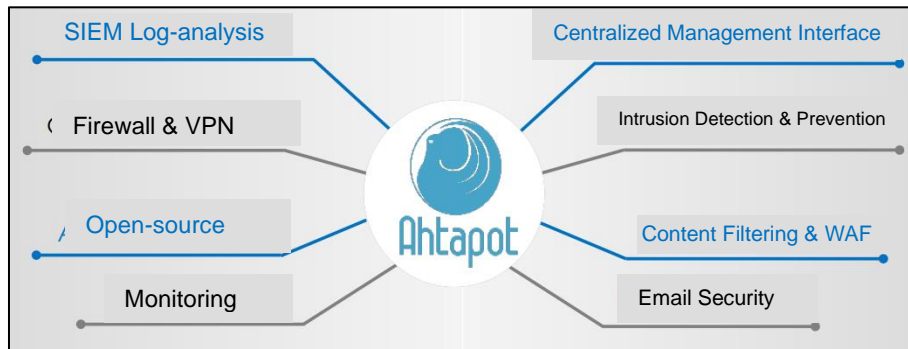


Fig. 3. Key features of the Ahtapot software.

The Ahtapot monitors, analyzes, and secures internal network traffic. Since the system continuously monitors the network, abnormal activities, security vulnerabilities, and open doors can be detected easily and automatically. Components of Ahtapot include email security systems, network traffic monitoring, content filtering, intrusion detection and prevention systems, firewalls, and network device-server-client monitoring. Additionally, the provision of Turkish documentation makes it easier for system users to install and use the system [7].

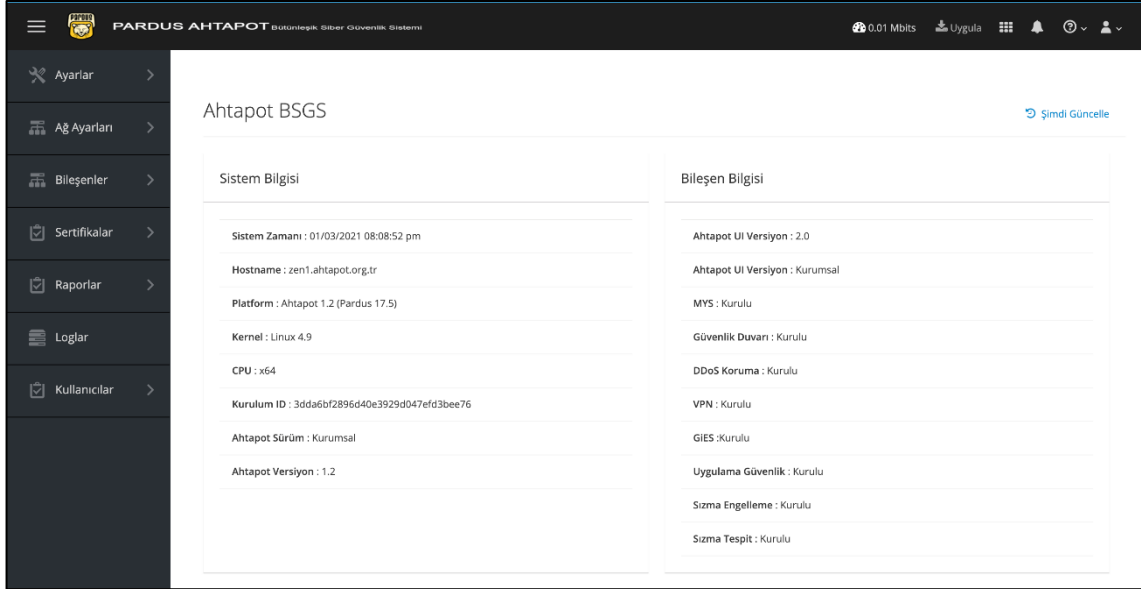


Fig. 4. User Interface of Ahtapot Integrated Cybersecurity System.

Figure 4 above shows the User Interface of the Octopus Integrated Cyber Security System.

Key features of Ahtapot Integrated Cybersecurity System include:

- **Open Source:** Allows users to inspect the software, eliminating risks associated with hidden backdoors.
- **Centralized Management:** Enables easy installation, configuration, and updates of systems.
- **Localized Support:** Provides Turkish documentation and user-friendly guides.
- **Flexible and Scalable:** Customizable and expandable to meet the needs of different institutions.

3.3. EnGerek Identity Management System

EnGerek Identity Management System, developed by TÜBİTAK ULAKBİM, is an open-source identity management solution. The system simplifies centralized authentication and authorization processes for institutions, securely storing user credentials and facilitating faster authentication. It also supports Single Sign-On (SSO), allowing users to access various applications with a single login. The basic features of EnGerek software are given in Figure 5.

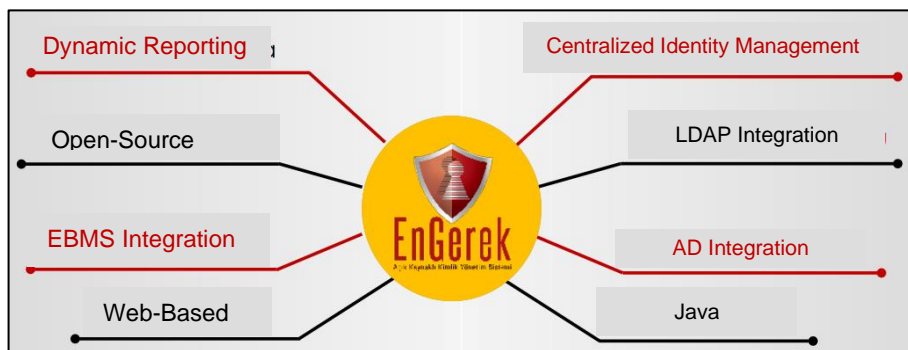


Fig. 5. Key features of the EnGerek software.

Developed using the Java programming language, EnGerek is an open-source, web-based identity management system. Its primary goal is to automatically and centrally manage corporate users' accounts across IT applications and systems. EnGerek includes features such as authorization review, request approval workflows, user account and password management, and ready-to-integrate connectors with other systems. Through defining role relationships and reducing the complexity of relationships, EnGerek increases efficiency in managing tasks such as account creation, modification, and authorization changes [8].

3.4. Liderahenk Centralized Management System

Liderahenk Centralized Management System is an open-source solution developed by TÜBİTAK ULAKBİM for managing users and devices in corporate networks from a central location. The system consists of two components: Lider (on the server side) and Ahenk (on the client side). The basic features of Liderahenk software are given in Figure 6 below.

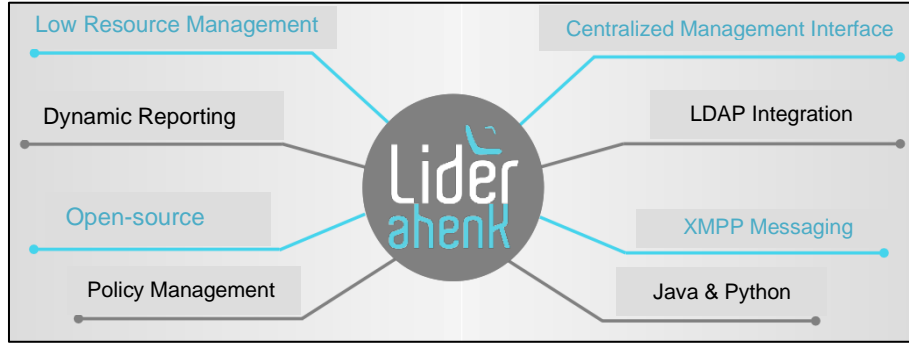


Fig. 6. Key features of the Liderahenk software.

Components of the Liderahenk Centralized Management System:

- Lider: The core component responsible for storing data gathered from clients, distributing defined policies, and assigning tasks to clients.
- Ahenk: A service software responsible for executing tasks sent by Lider, applying policies, and reporting results back to Lider. It operates as a super user on managed systems.
- Lider Interface: The interface where client and user management tasks are performed, including defining policies, adjusting server settings, and reporting.

Liderahenk works on Linux-based operating systems and aims to manage and monitor each client in the corporate network from a single location. It is suitable for distributed organizations with a central structure. Liderahenk consists of three main sections: the central Lider server, clients with Ahenk components connected to the Lider server, and a management panel called the Lider Panel for performing administrative tasks. Liderahenk is a modular system that can be enhanced with plugins, updated to meet business needs, and integrated with other systems [9].

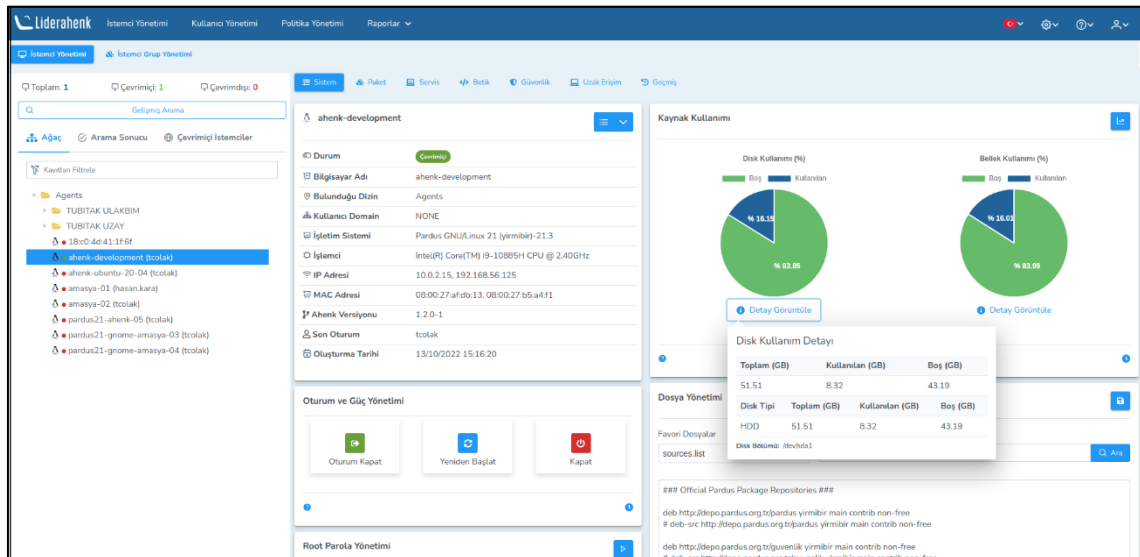


Fig. 7. User interface of the Liderahenk Centralized Management System.

Figure 7 above shows the user interface of Liderahenk Central Management System.

Key features of Liderahenk Centralized Management System:

- Client and User Management: Bulk task deployment, user addition, deletion, and migration can be performed.
- Policy Management: Policies for internet browsers, session management, USB access, etc., can be defined and enforced.
- Scripting Support: Custom tasks can be defined using Python, Bash, Perl, and Ruby scripts.
- Session and System Monitoring: Session durations and login times can be tracked, and system information can be displayed on the user's desktop.
- Additionally, it offers enterprise integration features such as Active Directory integration and remote desktop access.

3.5. Interactive Whiteboard Interface Project (ETAP)

The Interactive Whiteboard Interface Project (ETAP) is an interface specifically designed for interactive whiteboards used in educational institutions in Turkey. Developed by TÜBİTAK BİLGEM and ULAKBİM, ETAP is based on the Pardus GNU/Linux operating system and is open source. The project aims to enhance the use of touch screen devices, and it has been developed entirely with local resources. Figure 8 shows the basic features of the ETAP software.



Fig. 8. Key features of the ETAP software.

ETAP, which is used on interactive whiteboards and touch devices within the FATİH Project in schools under the Ministry of National Education, is based on the open-source Pardus operating system [10]. This interface aims to provide an effective, user-friendly, and functional educational experience on interactive whiteboards. It facilitates access to and interaction with digital materials for both students and teachers and is widely used in schools across Turkey.

Key features of ETAP software:

- User-Friendly Interface: A special design aimed at easy use for teachers and students.
- Domestic Development: Completely developed by TÜBİTAK with local resources.
- Hardware Compatibility: Compatible with HID-supported touch hardware and has low system requirements (2 GB RAM, 25 GB disk space).
- Free Software: Offered as free software under the GNU GPL v3 license.

4. Advantages and Disadvantages of National Open Source Software

The use of national open-source software (OSS) holds significant importance from various perspectives. First, these software solutions ensure that the country's software infrastructure is based on domestic production, thereby reducing external dependency. This independence is particularly critical in strategic areas, as full control can be maintained over national software. Furthermore, national software contributes to the development of the domestic software sector, thereby fostering economic growth and increasing employment opportunities.

Open-source software stands out for its cost advantages for public institutions. One of its most notable features is the absence of licensing fees compared to commercial software. This allows public institutions to manage their allocated budgets more

efficiently, without the burden of paying for licenses. This results in substantial budget savings, particularly for public institutions with large software infrastructures. Additionally, since OSS code is open to everyone, it can be modified to meet the specific needs of institutions [11].

Another economic advantage of open-source software is its ability to eliminate dependency on commercial software, thereby reducing the reliance of institutions on external IT infrastructure. This is strategically important for national security-related projects. Moreover, public institutions can save on maintenance costs by benefiting from the free support and development opportunities provided by the global developer community, which continuously updates and improves open-source software [12]. Since open-source software does not require license renewals, it is a more cost-effective and sustainable option compared to proprietary software.

Another important advantage is security. Open-source software allows for the rapid identification and resolution of security vulnerabilities due to the transparency of the code. This provides a significant advantage in protecting critical national infrastructure. Domestic software can defend against external threats more quickly and effectively. Furthermore, national software provides high levels of data security by preventing foreign software from monitoring national data.

However, the implementation of open-source software also comes with certain disadvantages. Initially, migrating from proprietary software to open-source software may incur higher upfront costs. Consulting services, infrastructure changes, and training may temporarily strain budgets during this transition. Moreover, effective use of these software solutions requires hiring personnel with technical expertise or training existing staff. This may lead to additional costs, particularly in public institutions with insufficient technical infrastructure.

Domestic software is often less mature compared to its international counterparts. This can lead to limited features and functionality of the software. Another disadvantage concerns maintenance and support services. While community support is generally the foundation of open-source software, paid support services may be required for urgent system issues. Compared to commercial software, national software may have limited support and update services. Additionally, users may struggle to find solutions for software errors or security vulnerabilities.

Public institutions are in search of solutions that can be compatible with proprietary software and existing infrastructures during the transition phase. National open-source software may cause integration difficulties if it does not ensure compatibility with existing systems. Finally, community support is essential for the survival of open-source projects; if a software's developer community decreases or updates cease, this may lead to future problems and may necessitate the software's modification [13].

5. Conclusion

This study has focused on the importance and economic advantages of open-source software (OSS) in public institutions. The findings reveal that OSS provides critical advantages over proprietary software, including cost savings, security, flexibility, and independence. The elimination of licensing fees offers significant savings in public budget management, while the flexibility in maintenance and development processes allows institutions to create solutions tailored to their needs. However, short-term challenges, such as infrastructure transformation costs, technical knowledge requirements, and staff training, need to be addressed during the implementation process. In some cases, the inadequacy of community-based support systems may increase the need for paid support services. It is clear that OSS should be considered a strategic tool in the digital transformation processes of public institutions. These software solutions, in addition to cost advantages, provide greater security and flexibility, ensuring more effective and sustainable delivery of public services. For example, the Pardus operating system strengthens Turkey's technological independence, while projects like Ahtapot and Engerek play critical roles in ensuring national security. The Liderahenk and ETAP projects also enhance efficiency in education and management, supporting the accessibility of public services. Economically, national OSS not only reduces licensing and maintenance costs but also boosts the production capacity of the domestic software industry, creating opportunities for innovation and employment. The widespread adoption of national software contributes not only to public institutions' cost savings but also strengthens Turkey's technological independence and enhances global competitiveness. This process is of great importance in the creation of a sustainable technology ecosystem.

References

- [1] M. N. Islam, "The Status Of Automation System At The International Islamic University Chittagong (IIUC) Library, Bangladesh: A Study," *International Scientific and Vocational Studies Journal*, vol. 2, no. 2, pp. 125–135, 2018.
- [2] J. Yang and J. Wang, "Review on free and open source software," in *2008 IEEE International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics*, vol. 1, pp. 1044-1049, Oct. 2008, doi: 10.1109/SOLI.2008.4686552.

- [3] E. Göçmen Polat, "Assessing the Roles of Raw Materials in Sustainable Development Goals: Current Situation and Future Prospects," *International Scientific and Vocational Studies Journal*, vol. 7, no. 2, pp. 176–186, 2023, doi: 10.47897/bilmes.1397666.
- [4] F. Akyıldız, "Kamu Yönetiminde Açık Kaynak Kodlu Yazılımlar," *Cumhuriyet University Journal of Economics and Administrative Sciences*, vol. 13, no. 1, pp. 17-41, 2012.
- [5] M. F. Çavuş and H. Soysal Kurt, "Kamu Kurumlarında Açık Kaynak Kodlu Yazılımların Kullanımı," *Journal of Politics, Economics and Management Studies*, vol. 5, no. 3, pp. 39-49, 2017, doi: 10.25272/j.2147-7035.2017.5.3.03.
- [6] G. Cantürk, "Etkileşimli Tahtalarda Açık Kaynak Kod Tabanlı Pardus İşletim Sisteminin Kullanımına Yönelik Öğretmen Görüşleri," *International Journal of Karamanoglu Mehmetbey Educational Research*, vol. 2, no. 1, pp. 48-61, 2020.
- [7] "Ahtapot Integrated Cyber Security System." [Online]. Available: <https://ahtapot.org.tr/>. Accessed Date: Nov. 18, 2024.
- [8] "Engerek Identity Management System," Pardus, [Online]. Available: <https://pardus.org.tr/urunlerimiz/engerek/>. Accessed Date: Nov. 20, 2024.
- [9] "Liderahenk Central Management System," [Online]. Available: <https://liderahenk.org/>. Accessed Date: Nov. 21, 2024.
- [10] "Interactive Whiteboard Interface Project," [Online]. Available: <https://www.etap.org.tr/index.php/ozellikler/>. Accessed Date: Nov. 21, 2024.
- [11] İ. Güneş, "Kamu Kurumlarında Açık Kaynak Kodlu Yazılımların Kullanılmasının Ekonomik Faydaları: Yerel Yönetimler İçin Pilot Uygulama Önerisi," *Karamanoglu Mehmetbey University Journal of Social and Economic Research*, vol. 3, no. 1, pp. 151-162, 2007.
- [12] S. Arslantekin, "Özgür ve Açık Kaynak Kodlu Yazılımlar ve Bilgi Merkezlerine Etkisi," *Ankara University Journal of the Faculty of Languages and History-Geography*, vol. 44, no. 2, pp. 231-246, 2004.
- [13] A. Aytekin and F. Tüminçin, "Ülkemizde Kamu Kuruluşlarında Kullanılan Yazılımların Yerli Yazılım ile Tek Çatı Altında Toplanması," *Journal of Social Research and Behavioral Sciences*, vol. 4, no. 7, pp. 121-130, 2018.

A Comparison of Open-Source Learning Management Systems Used for Distance Education in Higher Education Institutions

Emine Yılmaz ^{a,1}, Abdullah Elen ^b, Emre Can Kuran ^c, Ebru Kaya ^d, Emrah Dönmez ^e

^a Bandırma Onyedi Eylül University, Türkiye
ORCID ID: 0009-0001-8980-4835

^b Bandırma Onyedi Eylül University, Türkiye
ORCID ID: 0000-0003-1644-0476

^c Bandırma Onyedi Eylül University, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-0987-3866

^d Karamanoğlu Mehmetbey University, Türkiye
ORCID ID: 0000-0001-6690-2996

^e Bandırma Onyedi Eylül University, Türkiye
ORCID ID: 0000-0003-3345-8344

Abstract

In recent years, advancements in digitalization and internet technologies have facilitated the widespread adoption of distance education and blended learning models in higher education institutions. In this process, Learning Management Systems (LMS) have become essential tools that enhance the quality of education by providing functions such as sharing educational materials, organizing exams, and monitoring student performance. Open-source LMS platforms stand out due to their customizable structures, cost advantages, and strong community support. This study analyzes the strengths and weaknesses of open-source LMSs commonly used in higher education institutions, such as Moodle, Open edX, Sakai, ILIAS, and Canvas. Based on criteria such as user-friendly interfaces, plugin options, data security, and technical support, this review assesses the systems' contributions to educational processes and user experiences. The findings reveal that Moodle and Open edX, with over 140 million and 14 million users respectively, excel in scalability and analytics capabilities, while platforms like Chamilo and Dokeos are more suitable for smaller institutions due to their simplicity and lightweight structure. The study concludes that open-source LMS platforms, with their flexible and economical structures, provide effective tools for supporting the digital transformation of education and offers guidance for selecting suitable platforms to meet institutional goals.

Keywords: “Learning management system (LMS), distance learning, higher education.”

1. Introduction

The rapid advancement of digitalization and developments in internet technologies in the 21st century have led to a profound transformation in educational processes. In particular, higher education institutions have increasingly shifted toward online and blended learning models in addition to traditional face-to-face education, with LMS playing a pivotal role in this transition. Distance education provides students with the opportunity to learn independently of time and location, while offering instructors the ability to reach a wide audience and effectively manage educational content. In this context, LMS software used in higher education institutions has become a critical tool with the potential to enhance the quality and efficiency of education.

LMSs provide a wide range of functions, including sharing course materials, conducting online exams, monitoring student performance, and managing forums and discussion environments. However, for these systems to be effectively used in graduate and undergraduate education, universities must offer flexible and cost-effective solutions that meet their specific needs. In this regard, open-source LMS software stands out due to its cost advantages, customizable structures, and extensive community support. Academic institutions, in particular, can adapt and customize their educational processes according to their needs, leveraging the flexibility and scalability offered by open-source software.

This study analyzes open-source LMSs used for distance education in higher education institutions, highlighting their strengths and weaknesses. A comparative analysis of widely used open-source LMS platforms such as Moodle, Open edX, Sakai, ILIAS, and Canvas will be conducted to assess the systems' contributions to educational processes and examine user experiences.

¹ Corresponding Author
E-mail Address: emineyilmaz06384@gmail.com

In this scope, a detailed review will be carried out, taking into account various criteria such as user-friendly interfaces, technical support, plugin and module options, and data security.

The aim of this study is to identify the most suitable open-source LMS options for higher education institutions and to provide insights into future educational policies by analyzing trends in this area. Additionally, recommendations for the effective use of different LMS platforms will be presented, discussing how universities can achieve maximum efficiency in their distance education processes. In this context, the study's results aim to serve as a guide for decision-makers, academics, and system administrators in the field of educational technologies.

2. Open-Source Learning Management Systems

E-learning encompasses learning activities conducted solely over the internet, which can also be facilitated through video conferencing tools. However, for a more systematic learning process, a web-based system involving the participation of both students and instructors is necessary. These systems include various operations such as tracking student statistics, utilizing multimedia content, sharing course materials, and organizing exams. Such systems are referred to as LMS. LMS platforms are used by educational institutions, universities, companies, and governments to manage e-learning processes. Companies use LMS not only for employee training but also for customer training programs [1].

LMS platforms emerge as powerful tools to support and enhance digital education processes. Due to their flexible structures, cost advantages, and customizability, these systems effectively support distance education and blended learning models, particularly in higher education institutions. Open-source LMS platforms provide a modular structure that can be adapted to the specific needs of institutions [2], and they are continuously developed and updated with extensive community support. Platforms like Moodle, Open edX, Sakai, and Canvas offer a range of functions, including sharing course materials, conducting online exams, tracking student performance, and creating collaborative learning environments, all aimed at enhancing the quality of education. These systems not only meet technical requirements but also play a critical role in achieving pedagogical objectives. In today's rapidly accelerating digitalization of education, open-source LMS software provides an ideal solution for institutions seeking flexible, accessible, and scalable options.

2.1. Moodle

Moodle (Modular Object-Oriented Dynamic Learning Environment) is an open-source LMS developed to enable educators to create, manage, and interact with online courses. Initially developed in 2002 by Martin Dougiamas, Moodle is widely used by schools, universities, companies, and other educational institutions worldwide. The primary goal of Moodle is to support distance education and transition learning processes to digital platforms.

Moodle features a modular structure that can be customized according to the needs of educators. It offers tools such as course management, assessment tools, assignment submissions, exam modules, discussion forums, surveys, and multimedia support. Additionally, Moodle supports standards like SCORM and LTI, enabling integration with other learning systems and tools. Its components include:

- Course Modules: Tools for course content, exams, and assignments.
- Interaction Tools: Forums, chat rooms, and group projects.
- Reporting and Tracking: Tools for tracking and reporting student performance.
- Plugins and Theme Support: The system can be customized with plugins and themes developed by the Moodle community.

Technically, Moodle can run on virtually any computer that supports PHP programming language and SQL-type databases. Its modular structure offers a range of tools to meet diverse user needs. For example, the Assignment Module allows instructors to collect assignments, grade them, and provide feedback, while the Chat Module enables real-time communication. The Database Module allows users to create a configurable database. The Forum Module facilitates communication between students and instructors, and the Glossary Module allows users to add terms and definitions [5]. Users can easily access different modules online, and each user is authorized through a role-based membership system, with a single account per server. The system, managed in a portal-style, can terminate access for students who have been inactive for a specified period. Additionally, instructors can view forum and survey content via email, if desired [6].

One of Moodle's greatest advantages is its open-source nature and free availability, which allows institutions to customize the system and reduce costs. Moreover, its user-friendly interface and rich feature set make it suitable for educational institutions of all levels. However, some disadvantages include the need for technical expertise and the requirement for a robust infrastructure for large-scale usage. Some users have pointed out that the learning curve for Moodle can be steep initially.

Moodle can be used across a wide range of institutions, from elementary schools to universities, private companies, and government agencies. It is particularly ideal for distance education programs, blended learning environments, and in-house training. Universities, companies offering employee training programs, and organizations creating educational platforms are among the primary users of Moodle. With its advanced features and flexible structure, Moodle offers an effective solution for any institution seeking to digitalize their learning processes.

2.2. Open edX

Open edX is an open-source LMS platform developed under the leadership of MIT and Harvard University. Initially launched in 2013, Open edX is designed to create, manage, and deliver online courses and educational materials. The platform is particularly favored by higher education institutions, companies, and online education providers. Open edX enables users to manage remote learning processes, create blended learning environments, and provide interactive learning experiences. Open edX features a robust modular architecture and scalability. The system offers a variety of tools, including course creation tools, video integration, exam modules, interactive content, discussion forums, and analytics tools. It has a user-friendly interface and is supported by a large developer community. The core components of Open edX include:

- Studio: The tool used for creating and editing course content.
- LMS: The main platform where students access and interact with content.
- XBlock Framework: A modular framework used to customize and extend learning components.
- Analytics and Reporting: Advanced tools for tracking and evaluating student performance.

One of the most significant advantages of Open edX is its high degree of customizability and its ability to cater to a large user base. The advanced analytics tools allow institutions to track student performance in great detail. Additionally, the platform's open-source nature enables cost savings and customization to meet specific needs. A notable disadvantage, however, is the high technical expertise required for setup and management, as well as the need for a robust infrastructure. Furthermore, the complexity of the platform may pose a barrier for small-scale educational initiatives.

Open edX is an ideal platform for universities, large-scale companies, government institutions, and online education providers. Used by prestigious institutions such as Harvard and MIT, it is also preferred by global companies for managing employee training. Additionally, educational entrepreneurs and non-governmental organizations can utilize the platform to reach a broad audience. The flexible structure of Open edX makes it suitable for addressing educational and learning needs at all levels.

2.3. Sakai

Sakai is an open-source LMS developed by several universities in the United States in 2004. Designed for universities, companies, and educational institutions, the platform provides tools for online course management, sharing learning materials, assessment, and collaboration. Sakai is used to manage educational processes in a digital environment and enhance efficiency. It also offers flexibility, allowing users to customize their learning experiences.

Sakai features a user-friendly interface and a wide modular structure. The platform includes various functionalities such as course creation, exam and assignment management, student communication, forums, and group work. The core components of Sakai include:

- Course Management: Tools for instructors to upload, organize, and share course materials.
- Assessment Tools: Tools for creating tests, exams, and surveys.
- Collaboration Tools: Collaboration platforms for group projects and discussions.
- Gradebook: Used for tracking and analyzing student grades.
- Integration Tools: Allows easy integration with external applications and systems.

Sakai is a web-based software designed for education and collaboration, enabling users to create course sites without requiring HTML knowledge. Instructors can utilize various features such as announcements, resource sharing, online assessment, discussion forums, and messaging. The assessment tools offer individualized evaluations with specific notifications for students, while the announcement and chat tools facilitate communication. Additionally, collaboration is supported through features like shared folders and email integration. Sakai includes various components to simplify site and tool management. The program tool presents organization in a calendar format, while features like Wiki and WebDav support collaborative work and file management. The course site tool assists in the creation of course and project sites through guided steps. Widely used by universities such as Michigan, Indiana, MIT, Stanford, and Sabancı, Sakai offers a comprehensive platform for institutions seeking to effectively utilize technology in education. Thanks to its open-source structure, institutions can customize the platform to meet their specific needs and add new features.

One of Sakai's main advantages is its open-source and free nature. This reduces costs for educational institutions while allowing users to tailor the platform to their needs. Furthermore, Sakai is supported by a large community and is continuously updated. The platform's flexible integration capabilities enable seamless cooperation with various third-party tools. As a disadvantage, Sakai requires technical knowledge for installation and maintenance, and it may be complex for small-scale institutions. Additionally, the user interface may be considered less modern and intuitive compared to some other LMS platforms.

Sakai is primarily used by higher education institutions (universities) and research organizations. Its flexible structure allows it to be used in both academic and institutional environments. It is especially suitable for institutions seeking an open-source solution and possessing the technical capacity to customize the platform. Many universities and companies worldwide prefer Sakai to improve learning management and collaboration processes.

2.4. ILIAS

ILIAS (Integrated Learning, Information, and Work Cooperation System) is an open-source LMS developed in 1998. Designed to digitize educational and business processes, this platform caters to a wide range of users. Offering tools for online course creation, content sharing, exam management, and collaboration, ILIAS is particularly preferred by higher education institutions, vocational training centers, and businesses. ILIAS provides a wide range of features that can be customized according to users' needs, thanks to its modular structure. The platform's key features and components include:

- **Course Management:** Provides instructors with tools to upload, organize, and share course materials.
- **Exams and Assessment:** Includes tools for creating tests, surveys, and automated assessment tools.
- **Learning Material Management:** Facilitates sharing content in various formats such as videos, texts, and presentations.
- **Collaboration Tools:** Provides tools for forums, chat rooms, and group projects.
- **Tracking and Reporting:** Allows tracking students' progress and reporting on their performance.

ILIAS offers each user a personalized desktop workspace. Users log in to access courses and manage their profiles and settings, which are protected by security passwords. The platform includes several functionalities such as remembering the last accessed point, note-taking, viewing internal news, using a calculator, and tracking learning progress. It also features course management tools such as managing learning resources, time-restricted access, tracking the learning steps of course members, member galleries and maps, course news, and announcements. For communication, the platform offers internal messaging, chat, and forums. The test and assessment tools support various question types, including multiple choice, single choice, mixed tests, comparison, and ranking, as well as features such as question pools, random question selection, and exercise organization. Additionally, functionalities like categorizing questions and organizing daily tasks are designed to optimize both the learning process and the user experience.

One of the most notable features of ILIAS is its compliance with international standards such as SCORM (Sharable Content Object Reference Model). This facilitates the integration of the platform with other educational software. The advantages of ILIAS include being open-source, supported by a large community, and its flexible structure. The platform enhances the user experience by allowing educational materials to be presented in various formats. Furthermore, it enables users to customize their personal learning environments. However, ILIAS has its disadvantages. The installation and configuration of the platform may require technical knowledge. Some users may find the interface less intuitive compared to more modern LMS platforms. Additionally, the comprehensive structure of the system may seem complex for small-scale businesses initially.

ILIAS is used across a broad range of organizations, from higher education institutions to vocational training centers, government agencies, and businesses. It is particularly suitable for institutions aiming to digitize extensive education and assessment processes. It is widely used by universities and educational organizations in many European countries, especially in Germany. ILIAS offers a robust digital learning and collaboration platform for both academic and corporate users.

2.5. Canvas LMS (Open Source Version)

Canvas LMS is an open-source LMS designed to facilitate the online learning experience for educational institutions and businesses. Developed by Instructure, this platform is primarily used by universities, schools, and corporate training departments seeking to digitize teaching management. With its flexible structure and user-friendly interface, Canvas LMS allows instructors and students to easily access online course materials.

Canvas LMS offers a comprehensive feature set tailored to the needs of its users:

- **Course Management:** Enables the creation, sharing, and organization of course materials.

- **Assessment and Grading:** Provides tools for automatic grading, rubrics, and detailed tracking of student performance.
- **Communication and Collaboration:** Includes forums, instant messaging, video conference integrations, and tools for group work.
- **Mobile Compatibility:** Offers mobile applications for both instructors and students, ensuring easy access.
- **Integrations:** Easily integrates with other educational tools via SCORM, LTI (Learning Tools Interoperability), and API integrations.

Additionally, the open-source version allows users to customize the platform to suit their specific needs.

One of the major advantages of Canvas LMS is its modern, user-friendly interface, which provides an easy learning curve. While offering powerful tools for instructors, students, and administrators, the open-source nature of the platform provides opportunities for customization and integration. Its full compatibility with mobile devices makes it easier for students to access courses anytime and anywhere. However, users of the open-source version are responsible for hosting and technical management, which may require technical expertise. Additionally, some features may be more limited compared to the commercial version, and reliance on community resources for technical support may be considered a disadvantage.

Canvas LMS is widely adopted by universities, high schools, and corporate training units worldwide. It is particularly suitable for higher education institutions looking to improve the online learning experience. Businesses also use Canvas LMS for employee training and development. Its open-source nature makes it a popular choice among organizations seeking a low-cost solution.

2.6. Chamilo

Chamilo is an open-source LMS designed to facilitate online educational processes. It is an ideal platform for organizations and individuals seeking to create, share, and manage educational materials. Chamilo's target audience includes universities, schools, corporate training departments, and non-profit organizations. Its user-friendly interface and low system requirements make it an ideal solution for both organizations with limited technical infrastructure and large-scale educational providers.

As a comprehensive LMS, Chamilo offers the following key features:

- **Course Management:** Instructors can create, edit, and assign course materials to students.
- **Assessment and Evaluation:** Provides tools for creating exams, quizzes, and assignments.
- **Communication and Collaboration:** Includes support for forums, instant messaging, and group work.
- **Learning Paths:** Offers a modular structure to personalize students' learning processes.
- **Reporting and Tracking:** Contains advanced reporting tools for analyzing user activity and performance.
- **Mobile Compatibility:** Provides easy access to the platform from mobile devices.
- **Multilingual Support:** Supports multiple languages, making it suitable for international use.

The components include user management, document sharing, video integration, certification, and SCORM compatibility. Among Chamilo's advantages are its simple installation, user-friendly interface, and extensive community support. Its open-source structure allows for customization, and integration with other systems is straightforward. With its low hardware requirements, Chamilo offers a cost-effective solution, particularly for small and medium-sized institutions. However, it may have limitations for organizations seeking advanced technical features or large-scale operations. For example, it may fall short in handling more complex reporting or big data processing needs. Technical support is primarily based on community forums, which could be a disadvantage for users seeking personalized assistance.

Chamilo appeals to a broad user base seeking to leverage educational technologies effectively. It is favored by universities, schools, and educational institutions, as well as businesses managing employee training and competency development programs. Additionally, Chamilo is an appropriate choice for non-profit organizations running low-budget educational projects. Its flexible structure allows it to be adapted to the educational needs of various types of institutions.

2.7. ATutor

ATutor is an open-source web-based Learning Content Management System (LCMS), developed in 2002 with a primary focus on accessibility. The platform is designed to ensure equal participation in the educational process for individuals with disabilities. As such, it is structured in compliance with WCAG (Web Content Accessibility Guidelines) and other international standards. The software adheres to the disability standards set by the American Society for Training and Development (ASTD). Its modular architecture allows for extensibility, making it possible to enhance the system with third-party extensions. ATutor supports the IMS/SCORM standards for content developers, ensuring compatibility for educational materials. Additionally, the platform operates independently of the underlying operating system, functioning across Microsoft, Linux, UNIX, and Mac OS X.

environments. The Adaptive Technology Resource Centre at the Faculty of Information Studies, University of Toronto, has contributed to ATutor and various other projects in this field, focusing on the development of educational technology standards.

ATutor offers a range of robust features to support online learning processes. It includes components and functionalities such as file storage, forums, communication tools, content packages, test management, messaging, SCORM support, student tools, assessments, reading lists, news, announcements, and frequently asked questions. Key components of ATutor include course modules, user management, forums, file sharing, and reporting tools. The main features of ATutor are as follows:

- **Accessibility:** Its design is optimized for accessibility, particularly for groups such as individuals with visual impairments.
- **Course Management:** Instructors can easily create and organize course content.
- **Test and Evaluation Tools:** Facilitates assessment through multiple-choice, true/false, and open-ended questions.
- **Adaptive Themes:** Provides customizable interface options based on user needs.
- **SCORM Compatibility:** Supports the sharing of educational materials in compliance with international standards.
- **Student Tracking and Reporting:** Includes tools for analyzing student activity and performance.
- **Modular Structure:** Allows the integration of additional features through extensible plugin support.

One of ATutor's greatest advantages is its full compliance with accessibility standards for individuals with disabilities. Additionally, its open-source nature offers high customization potential at a low cost. The platform's simple installation process and user-friendly interface make it accessible even for users without technical expertise. Its modular structure ensures ease of updates, and students can modify their learning environment based on available templates. The platform also supports features such as graphics and forums, and when using the ATutor content editor, instructors can control the accessibility of the content accessible by all students. Various component types are used to add additional functionality to ATutor, with the primary aim of creating application-linked components within the system, offering interactive features and enhancing user convenience. However, ATutor has certain limitations. It may fall short for large-scale users seeking advanced features. Additionally, community support may sometimes be limited, and the frequency of platform updates could be lower compared to other LMS solutions.

ATutor offers an effective solution for educational institutions and individual instructors. It is particularly preferred by organizations focusing on accessibility standards. It is an ideal choice for schools, universities, non-profit organizations, and government projects. Moreover, small and medium-sized businesses looking to support employee training and professional development can also utilize ATutor. Its goal of ensuring full participation of individuals with disabilities in the educational process makes ATutor a unique option in this field.

2.8. Claroline

Claroline is an open-source LMS used for the creation, sharing, and management of online educational materials. Initially developed by the Catholic University of Louvain in Belgium, this platform provides a digital learning environment for both instructors and students. Claroline, designed for both teaching and collaboration purposes, is favored by educational institutions, workplaces, and non-profit organizations due to its flexible structure.

Claroline offers a range of features to ensure an effective learning experience:

- **Course Management:** Enables instructors to create, organize, and share course materials.
- **User Management:** Manages user access with different roles (instructor, student, administrator).
- **File Sharing:** Facilitates the sharing of materials with students.
- **Activity and Task Management:** Organizes tasks and events through calendar integration.
- **Forums and Discussion Areas:** Provides forums for interaction and collaboration among students.
- **Test and Evaluation Tools:** Allows instructors to create exams and assess results.

Claroline's modular structure allows the easy addition of various components to the system. Some of these components include forums, surveys, assessment tools, and reporting features.

Among the advantages of Claroline are its open-source nature and flexible architecture. These features make it easier for different institutions to customize the platform according to their specific needs. Additionally, its user-friendly interface minimizes the technical knowledge required for use. Online collaboration tools promote teamwork and support distance learning processes. However, some of the disadvantages of Claroline include limited scalability for large-scale users. Its user interface, which is less advanced compared to modern LMS solutions, and limited integration options may negatively impact the user experience. Additionally, community support is more limited compared to popular alternatives like Moodle.

Claroline is particularly ideal for small to medium-sized educational institutions and workplaces. Schools, universities, and professional training providers can use Claroline to digitize course materials and create online learning environments. Focused

on enhancing students' pedagogical experiences and needs, Claroline does not require specialized technical knowledge for daily platform management. The platform can be quickly set up and easily managed via web browsers, allowing users to register for various courses. Claroline is structured around pedagogical activities or course content areas. Each area provides a set of tools to support the creation of learning materials, management of educational activities, and interaction with students. Moreover, non-profit organizations and businesses wishing to manage employee training programs can also benefit from this platform. Its simple structure offers an effective solution for organizations with limited technical infrastructure.

2.9. Opigno LMS

Opigno LMS is an open-source LMS built on the Drupal infrastructure. Designed for both corporate training and academic purposes, Opigno offers users a customizable and scalable learning platform. This system is intended for the creation, management, and delivery of online educational materials, providing a modern user experience. It is widely used by businesses offering e-learning and professional development programs.

The core features offered by Opigno LMS include:

- Flexible Course Management: Instructors can easily create, edit, and assign course content to students.
- Certification and Examinations: Automatically generates certificates upon course completion and facilitates exam creation.
- Gamification: Enhances motivation by integrating reward systems and badges into the learning process.
- Role-Based Access: Provides customized access for different user types, such as instructors, students, and administrators.
- Statistics and Analytical Tools: Offers detailed reports for analyzing user performance.
- Mobile-Friendly Design: Allows users to access courses conveniently from mobile devices.

Components of Opigno LMS include training modules, video conferencing integration (e.g., Zoom), forums, surveys, tests, and customizable dashboards. Thanks to its Drupal infrastructure, the system can be expanded to meet specific needs by adding new modules.

The advantages of Opigno LMS include its open-source nature and the strong customization capabilities enabled by its Drupal foundation. Its scalable structure supports large user groups, and modern e-learning features like gamification and certification enhance user motivation. Mobile compatibility allows users to access content from anywhere. However, there are some disadvantages. Due to the Drupal infrastructure, the installation and management of the system require technical knowledge, which may increase the demand for technical support. Additionally, as it is less popular than other open-source LMS solutions, community support may be more limited.

Opigno LMS caters to a wide range of users, particularly large enterprises that use it for managing employee training programs. Universities and schools can also use the system to offer online courses. Furthermore, non-profit organizations and professional training providers can benefit from Opigno's customizable structure. It is an ideal solution for organizations with technical infrastructure and those seeking flexibility in customization.

2.10. Dokeos

Dokeos is an open-source LMS developed with contributions from various international organizations, universities, and individual contributors. This system is widely used not only in the academic field but also by companies for e-learning and blended learning programs. Operating on a MySQL database and written in PHP, Dokeos is a web-based application that offers key features such as SCORM compliance and LDAP authentication support. Dokeos serves as an efficient tool for educators and institutions in the creation, management, and distribution of educational materials. It provides a robust infrastructure for online courses, exams, assessments, and interactive training. One of the standout features of Dokeos is the ability to import SCORM-compliant course content and PowerPoint presentations through the Oogie Rapid Learning package. Additionally, with the Videoconferencing package, virtual classrooms can be created, and synchronous training and virtual meetings can be held, setting it apart from other LMS platforms.

Key features of Dokeos include:

- Course Management: Educators can easily create and assign course content. Various formats (text, video, tests, etc.) can be used for content creation.
- Exams and Assessments: Online exams can be created, and student performance can be closely monitored. Instant feedback is provided to students.
- Communication Tools: Interactive tools such as forums, messaging, and announcements facilitate communication between students and instructors.

- **User Tracking and Reporting:** Users' progress can be tracked, and various reports related to the course can be generated. This assists instructors in evaluating student performance.
- **Gamification:** By adding gamification elements to the learning process, Dokeos makes learning more engaging and motivating.
- **Mobile Compatibility:** Dokeos is optimized for mobile devices, allowing users to access educational materials from anywhere.

Components of Dokeos include course modules, exams, user management systems, reporting tools, communication platforms, and content management tools. It also supports e-learning standards such as SCORM and xAPI, enabling integration with external educational materials.

The advantages of Dokeos include its open-source nature, which provides a cost-effective solution. Its flexible and customizable structure means it can be extended to meet institutional needs. The user-friendly interface and comprehensive reporting features are significant advantages for instructors, as every stage of the learning process is trackable, and users' progress can be easily monitored. However, some disadvantages include limited community support compared to other LMS platforms and the potential challenges during the installation process. Additionally, more customization may require technical knowledge, which could be a barrier for small businesses. Dokeos is particularly suitable for educational institutions, universities, schools, and professional training providers. It is also an ideal platform for corporate training, especially for employee development programs and certification processes. Furthermore, governments and non-profit organizations seeking a low-cost yet comprehensive educational solution may prefer Dokeos.

3. Comparison of Learning Management Systems

Open-source LMS in educational technologies stand out due to their customizable structures, low costs, and extensive community support. These systems play a critical role in the digital transformation processes of educational institutions, particularly by offering flexible and user-friendly solutions. Platforms such as Moodle, Open edX, Sakai, ILIAS, and Canvas LMS are widely used worldwide, aiming to meet both technical requirements and pedagogical expectations of users. Additionally, alternatives such as Chamilo, ATutor, Claroline, Opigno LMS, and Dokeos cater to more niche needs, offering a broad range of users.

This study thoroughly examines the features, technical infrastructures, advantages, and disadvantages of open-source LMS platforms, providing an evaluation of their academic uses in different contexts. Furthermore, the technical competency requirements and potential user experiences of each platform are discussed to offer guidance for educational institutions. Technical details of the selected LMS platforms are included in Table 1.

Table 1. Technical Details of Selected LMS Platforms.

LMS	# of Languages	# of Users	URL
Moodle	100	143.000.000+	https://moodle.org
Open edX	32	14.000.000+	https://open.edx.org
Sakai	19	100.000+	https://www.sakailms.org
ILIAS	28	N/A	https://www.ilias.de
Canvas LMS	34	30.000.000+	https://community.canvaslms.com
Chamilo	3	12.000.000+	https://chamilo.org
ATutor	62	N/A	https://atutor.github.io
Claroline	35	5.000.000+	https://www.claroline.com
Opigno LMS	N/A	8.000 CO+	https://www.opigno.org
Dokeos	20	2.000.000+	https://www.dokeos.com

The open-source LMS platforms listed in Table 2 offer a variety of solutions tailored to different needs in educational technologies. The key features, technical infrastructure, and advantages of these systems are detailed in the context of user experience and academic success. Moodle and Open edX stand out with their flexible and highly scalable structures, offering robust analytical tools, while Sakai and ILIAS are more focused on enterprise-level applications. Canvas LMS is distinguished by its modern interface, while Chamilo and Claroline are noted for their ease of use. ATutor stands out for its prioritization of accessibility, whereas Opigno offers a modular structure with Drupal integration. Dokeos, on the other hand, is a suitable solution for small-scale institutions. However, each platform requires varying levels of technical expertise and community support, which may influence the selection process.

Moodle, continuously developed through the open-source community, offers an expandable platform [7]. Its modular structure enhances customizability with various types of plugins, although large-scale projects may require expert support due to its technical knowledge requirements. Moodle is widely used, especially in universities and corporate training, and provides strong support for both group projects and individual learning. Open edX is particularly known for supporting MOOCs (Massive

Open Online Courses). Its advanced analytical tools optimize student success tracking and reporting processes [8]. However, due to its Python and Django infrastructure, institutions may face difficulties in installation and maintenance. This platform is ideal for universities developing distance learning strategies and large-scale online courses. Sakai stands out with its enterprise-focused and customizable structure [9], making it suitable for integration with corporate applications due to its Java-based infrastructure. However, its outdated interface may negatively affect user experience. Sakai is used primarily in corporate and higher education settings and can provide an efficient collaborative environment, particularly for research projects. ILIAS, with SCORM compliance and comprehensive assessment tools, is ideal for institutions prioritizing standardized learning materials [10]. However, its smaller community support compared to other open-source projects may lead to delays in problem resolution. ILIAS, widely used in Europe, ensures the distribution of educational content in compliance with standards.

Canvas LMS (Open Source), although not as comprehensive as its commercial version, offers a user-friendly interface and modern infrastructure [11]. However, paid modules may be required for full functionality. This platform offers an effective LMS for universities and enhances student access through mobile compatibility. Chamilo has lightweight system requirements, allowing good performance even on low-resource devices [12]. However, its lack of advanced analytics and customization options may limit its use in large-scale applications. Chamilo provides a suitable solution for small-scale institutions and individual instructors. ATutor, with its compliance to accessibility standards, is particularly important for individuals with disabilities [13]. However, its lack of active development may limit its use in long-term projects. This system is suitable for accessibility-focused educational institutions and individual instructors. Claroline, with its simple structure, is suitable for basic-level educational management [14]. However, its lack of advanced features limits its support for complex educational processes. Claroline may be preferred for projects requiring less complexity or by novice LMS users. Opigno LMS, based on the Drupal platform, offers flexibility through its modular structure [15]. However, the need for Drupal knowledge may pose challenges for users lacking technical proficiency. It could be an ideal choice for institutions seeking customized solutions. Dokeos offers an e-learning-focused solution for small-scale institutions [16]. However, the lack of comprehensive features may be limiting for large-scale use. It provides an effective solution for smaller schools or individual instructors.

These systems cater to needs at different scales and, being open-source, offer customization opportunities. When selecting a platform, institutions should consider their technical infrastructure, target audience, and cost requirements. Platforms with strong community support, such as Moodle, Open edX, and Canvas, provide advantages for long-term projects.

Table 2. Features of Open-Source LMS Platforms.

LMS	Key Features	Customizability	Supported Technologies	Advantages	Disadvantages
Moodle	Open source, strong community, modular structure	High	PHP, MySQL, PostgreSQL	Flexible structure, extensive plugin support	Requires technical knowledge
Open edX	Comprehensive analytics, MOOC support	High	Python, Django	Scalable, powerful analytical tools	Installation steps are complex
Sakai	Institution-focused features, flexible structure	High	Java, MySQL	Extensive community support, suitable for institutional use	Interface is not modern
ILIAS	Compliance-focused, SCORM support	Middle	PHP, MySQL	Comprehensive assessment tools, large user base	Limited community support
Canvas LMS	Modern interface, open-source version	Middle	Ruby on Rails, PostgreSQL	User-friendly, mobile compatibility	Some features available only in paid version
Chamilo	Quick installation, teaching-focused	Middle	PHP, MySQL	Easy to use, low system requirements	Lacks advanced analytics
ATutor	Accessibility-focused, modular structure	High	PHP, MySQL	Accessibility-compliant for individuals with disabilities	Development is inactive
Claroline	Simple and user-friendly	Low	PHP, MySQL	Easy to use, fast learning curve	Lacks advanced features
Opigno LMS	Drupal-based, flexible structure	Middle	Drupal, PHP, MySQL	Modular, Drupal integration	Requires Drupal knowledge
Dokeos	Suitable for small-scale institutions	Low	PHP, MySQL	Easy installation, e-learning focused	Limited comprehensive features

Open Source LMS and Commercial LMS are two main types of LMS, each offering distinct advantages and disadvantages. Open-source LMS are generally cost-effective as they do not require licensing fees, and users can customize the software according to their needs. However, they have high technical knowledge and skill requirements, requiring expertise for installation and maintenance. Additionally, community support is generally available, but formal support services are limited. Security and integration may require additional effort and attention. On the other hand, commercial LMS typically offer more user-friendly interfaces, professional support services, and security guarantees. These systems cater to large-scale educational and corporate needs, with integration processes generally being smoother. However, commercial LMS may be more expensive in terms of licensing fees and innovations, and may have some limitations in terms of customization. Both types can be suitable for

different institutions and needs, but it is important to make a choice based on budget, technical capacity, and security requirements. Table 3 provides a comparison of open source LMS and Commercial LMS.

Table 3. Comparison Between Open-Source and Commercial LMS Platforms.

	Open-source LMS	Commercial LMS
<i>Cost</i>	Generally free. Users can download and use the software, but they are responsible for installation, customization, and maintenance. Some open-source LMS platforms may offer paid services that provide additional features or premium support.	Some platforms offer limited free usage but require a license fee. This fee is typically charged per user or as an annual subscription. Additional features, custom reporting, and advanced support are usually provided for an extra fee.
<i>Customization and Flexibility</i>	Offers a high level of customization. Since the source code is open, users can modify the software to suit their needs and customize it to align with their workflows.	Typically offers more limited customization options. Commercial LMS platforms generally come with predefined features, and users have limited ability to modify or customize these features. However, some commercial solutions provide paid services for specific customizations.
<i>Technical Support</i>	Open-source LMS platforms typically provide community-based support. Users can seek help through forums and online resources, but there is no official support or guaranteed solutions. However, some open-source LMS providers may offer paid support services.	Commercial LMS platforms provide professional support services. They typically offer 24/7 support, training, and system management services. Users can seek assistance from an official support team to resolve any issues encountered while using the software.
<i>Security</i>	Security is typically ensured through community-driven development. Security patches and updates are identified and distributed by the community. However, more attention may be needed to address security vulnerabilities, and additional precautions might be required.	Commercial LMS platforms generally adopt a professional approach. These systems receive regular security updates and offer security guarantees. Additionally, commercial providers may implement more advanced encryption and data protection measures.
<i>Scalability and Infrastructure</i>	Typically the user's responsibility. Users who host their own servers may face additional resource and management requirements to handle high traffic. However, it is strong in terms of flexibility.	Primarily cloud-based, offering scalability for high-traffic usage. These LMS platforms are designed with infrastructure capable of handling large user bases and typically provide performance monitoring and optimization services.
<i>Integration</i>	Offers flexible integration options, but some complex integrations may require technical expertise. Most open-source LMS platforms provide plugins and modules to enable integration with external systems.	Provides a greater number of ready-to-use integration options and compatibility with third-party software. Integration with popular ERP systems, student information systems, and payment solutions is straightforward. However, additional fees are typically charged for integration services.

4. Discussion

Open-source LMS are a crucial component of educational technologies, offering a wide range of solutions tailored to the needs of diverse user groups. The open-source nature of these systems allows institutions to customize them according to their requirements and provides long-term cost advantages. However, the effectiveness of these advantages and the contexts in which they become more beneficial reveal numerous factors that must be considered during LMS selection [17]. The technical infrastructure of these systems, community support, ease of use, and their impact on educational outcomes have been thoroughly discussed.

- **Technical Expertise and Customization Requirements:** Platforms like Moodle and Open edX stand out due to their high level of customizability. However, this flexibility often requires greater technical knowledge and infrastructure [18]. Specifically, Open edX may necessitate technical expertise due to its Python and Django-based architecture, making installation and maintenance processes more complex. In contrast, lighter LMS solutions such as Claroline and Dokeos, with simple infrastructure requirements, may be an attractive option for institutions with limited technical expertise. This situation compels institutions to carefully assess their technical capacity when selecting an LMS.
- **Community and Support Factor:** The success of open-source LMS platforms largely depends on community support [19]. Moodle, with its large global community, provides an advantage over other platforms when it comes to troubleshooting and developing new features. However, less widely used platforms like ATutor and ILIAS may present challenges for users in resolving issues due to the lack of community support. This highlights the critical importance of community backing for the sustainability of an LMS.
- **User Experience and Accessibility:** A user-friendly LMS significantly eases the adoption of the system by both teachers and students. Platforms like Canvas LMS (open-source version) and Chamilo receive positive feedback due to their modern, user-friendly interfaces, while systems like Sakai, with older interfaces, fall behind in this regard.

On the other hand, accessibility-focused platforms such as ATutor offer significant advantages for individuals with special needs. Such accessibility-oriented solutions are valuable for institutions aiming to implement an inclusive educational policy [20].

- **Academic Success and Educational Outcomes:** The impact of LMS platforms on student success depends on their capacity to deliver content that aligns with pedagogical goals and support learning processes through analytical tools [1]. Open edX, with its robust analytics tools, enables instructors to assess student performance effectively, while simpler solutions like Claroline and Chamilo are more limited in this respect. Furthermore, Moodle's flexible structure, which supports group work and individual learning, positively influences learning outcomes by encouraging active student participation.
- **Scalability and Cost Management:** It is crucial for educational institutions to select an LMS that meets their scalability needs. Platforms like Open edX and Moodle are effective in large-scale projects, whereas Dokeos and Claroline are more suitable for smaller applications. Additionally, despite being open-source, some platforms incur high technical maintenance costs, which can increase the total cost of ownership [21]. This necessitates careful consideration of long-term costs by institutions.

This study also addresses the various advantages and challenges of open-source LMS platforms. It is important for educational institutions to choose an LMS that aligns with their pedagogical objectives and technical capabilities. For example, Open edX and Moodle are recommended for large-scale MOOC projects, Claroline or Dokeos for smaller applications, ATutor for accessibility-focused needs, and Canvas LMS for those seeking mobile compatibility and a user-friendly solution.

The effective use of these systems should be planned to enhance digitalization processes in education and improve student success. Institutions should consider not only technical factors but also user experience and long-term sustainability when selecting an LMS. In this regard, the flexibility and customization options offered by open-source LMS platforms can be seen as a critical opportunity for the advancement of educational technologies.

5. Conclusion

Open-source LMS platforms emerge as a crucial tool in supporting the process of digitalization in education. Platforms with strong analytical capabilities, such as Moodle and Open edX, offer ideal solutions for large-scale distance education programs and MOOCs, while simpler platforms like Claroline and Dokeos provide fast and effective solutions for smaller institutions and individual instructors. Furthermore, modular systems such as ILIAS and Opigno LMS stand out as attractive options for institutions seeking compatibility and customization. However, when selecting a system, factors such as technical knowledge requirements, community support, system scalability, and pedagogical goals must be carefully considered. Educational institutions need to focus not only on the features of an LMS platform but also on its impact on student success, accessibility, and user experience. Open-source LMS platforms, with proper planning and integration strategies, can play a significant role in helping educational institutions achieve their digitalization goals. This study aims to contribute to decision-making processes in educational technologies by highlighting the capabilities of open-source LMS systems that cater to various user groups.

Future studies could explore the integration of advanced analytics and AI-driven tools in open-source LMS platforms to enhance personalized learning and predictive performance analysis. Additionally, research could examine the cross-cultural adoption of LMS platforms, considering linguistic and pedagogical variations in diverse educational contexts. Longitudinal studies measuring the sustained impact of LMS platforms on academic performance, retention rates, and student satisfaction would provide valuable insights. Investigating the scalability and feasibility of deploying these platforms in resource-limited settings, with a focus on technical and financial constraints, could address critical challenges. Furthermore, evaluating the effectiveness of collaboration tools in hybrid educational models that combine online and face-to-face instruction would contribute to optimizing learning outcomes and system utilization. These directions aim to fill existing gaps in the literature and enhance the academic and practical contributions of LMS research.

References

- [1] D. Ülker and Y. Yılmaz, "Learning Management Systems and Comparison of Open Source Learning Management Systems and Proprietary Learning Management Systems," *Journal of Systems Integration*, vol. 7, no. 2, pp. 18-24, 2016. Available: <https://doi.org/10.20470/jsi.v7i2.255>.
- [2] S. Yılmaz, "Web Teknolojileri ve Yabancı Dil Öğretimi-Japon Yazısı Öğretimi Örneği," *RumeliDE Dil ve Edebiyat Araştırmaları Dergisi*, no. Ö15, pp. 933-949, 2024.
- [3] Ç. Elmas, N. Doğan, S. Biroğul, and M. Koç, "Moodle eğitim yönetim sistemi ile örnek bir dersin uzaktan eğitim uygulaması," *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, vol. 1, no. 2, 2008.

- [4] Y. Özarslan, “Uzaktan Eğitim Uygulamaları İçin Açık Kaynak Kodlu Öğrenme Yönetim Sistemleri,” in XIII. Türkiye’de İnternet Konferansı, ODTÜ, Ankara, pp. 55-60, 2008.
- [5] Ö. Aydın, “Yeni Başlayanlar için Moodle”, XVI. Akademik Bilişim Konferansı, Mersin Üniversitesi, Mersin, pp. 115-120, 2014.
- [6] Ö. Önal, Z. Kaya, and H. Draman, “Moodle: Açık Kaynak Kodlu Bir LMS Örneği,” in Akademik Bilişim Konferansı, Denizli, Türkiye, 2006. Available: <https://ab.org.tr/ab06/bildiri/179.pdf>.
- [7] J. Cabero-Almenara, M. L. Arancibia, and A. Del Prete, “Technical and Didactic Knowledge of the Moodle LMS in Higher Education: Beyond Functional Use,” *Journal of New Approaches in Educational Research*, vol. 8, no. 1, pp. 25–33, 2019. Available: <https://doi.org/10.7821/naer.2019.1.327>.
- [8] D. Volchek, A. Romanov, and D. Mouromtsev, “Towards the Semantic MOOC: Extracting, Enriching and Interlinking E-Learning Data in Open edX Platform,” in *Knowledge Engineering and Semantic Web*, P. Rózewski and C. Lange, Eds. Springer International Publishing, 2017, pp. 295–305. Available: https://doi.org/10.1007/978-3-319-69548-8_20.
- [9] M. A. Tagoe and Y. Cole, “Using the Sakai Learning Management System to change the way Distance Education nursing students learn: Are we getting it right?” *Open Learning: The Journal of Open, Distance and e-Learning*, vol. 35, no. 3, pp. 201–221, 2020. Available: <https://doi.org/10.1080/02680513.2019.1704232>.
- [10] P. Hasan and A. Varol, “Developing Additional Features into Ilias Learning Management System,” *International Journal of Innovative Engineering Applications*, vol. 1, no. 2, pp. 14-17, 2017.
- [11] R. John, *Canvas LMS Course Design: Create and Deliver Interactive Online Courses on the Canvas Learning Management System*, 2nd ed., Packt Publishing Ltd, 2021.
- [12] Utilization of Chamilo LMS in Learning Media Courses as an Effort to Digitalize Education, (n.d.). *International Journal of Business, Law, and Education*. Retrieved December 3, 2024, from <http://ijble.com/index.php/journal/article/view/284>.
- [13] P. Campanella, “LMS: Benchmarking ATutor, Moodle and Docebo,” in *2022 20th International Conference on Emerging eLearning Technologies and Applications (ICETA)*, pp. 85–90, 2022. Available: Doi: 10.1109/ICETA57911.2022.9974688.
- [14] N. B. Awang and M. Y. B. Darus, “Evaluation of an Open Source Learning Management System: Claroline,” *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 67, pp. 416–426, 2012. Available: Doi: 10.1016/j.sbspro.2012.11.346.
- [15] Opigno LMS | Learning Management System based on Drupal, (n.d.). Retrieved December 3, 2024, from <https://www.opigno.org/>.
- [16] N. Cavus and T. Zabadi, “A Comparison of Open Source Learning Management Systems,” *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 143, pp. 521–526, 2014. Available: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.07.430>.
- [17] N. N. Mohd Kasim and F. Khalid, “Choosing the Right Learning Management System (LMS) for the Higher Education Institution Context: A Systematic Review,” *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)*, vol. 11, no. 06, p. 55, 2016. Available: <https://doi.org/10.3991/ijet.v11i06.5644>.
- [18] G. Issa, S. M. Hussain, and H. Al-Bahadili, “Competition-Based Learning: A Model for the Integration of Competitions with Project-Based Learning using Open Source LMS,” *International Journal of Information and Communication Technology Education (IJICTE)*, vol. 10, no. 1, pp. 1–13, 2014. Available: <https://doi.org/10.4018/ijicte.2014010101>.
- [19] A. Alameen and B. Dhupia, “Implementing Adaptive e-Learning Conceptual Model: A Survey and Comparison with Open Source LMS,” *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)*, vol. 14, no. 21, pp. 28–45, 2019.
- [20] M. Aberdour, “Open Source Learning Management Systems,” in *EPIC White Paper*, 2007. Available: <https://shorturl.at/010TU>. [Accessed: Dec. 2, 2024].
- [21] S. Alshomrani, “Evaluation of technical factors in distance learning with respect to open source LMS,” *Asian Transactions on Computers*, vol. 2, no. 1, p. 1117, 2012.

Effects of Consolidation Parameters on Flexural Behavior of Polypropylene/Glass Fiber Thermoplastic Composites

Abdullah Saar ^a, Cihan Bezen ^b, Umut Caliskan ^{c,d,e,1}, Zeynep Gul Apalak ^f

^a Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Mechanical Engineering, Kayseri, Türkiye
ORCID ID: 0009-0000-4467-3176

^b Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Mechanical Engineering, Kayseri, Türkiye
ORCID ID: 0009-0008-3054-8401

^c Erciyes University, Department of Mechanical Engineering, Kayseri, , Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-8043-2799

^d Maicros Advanced Engineering Technologies, Erciyes Teknopark, Kayseri, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-8043-2799

^e Aviation Research and Application Center, Erciyes University, Kayseri, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-8043-2799

^f Erciyes University, Department of Mechanical Engineering, Kayseri, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-5777-0239

Abstract

In this study, the flexural behavior of glass fiber-reinforced polypropylene (GFR-PP) composites was systematically investigated under three-point bending conditions to evaluate the impact of key production parameters. Composite plates with a thickness of 4 mm were fabricated using a stepped mold under varying pressure levels (10, 20, and 30 bar) and durations under pressure (5, 10, and 20 minutes). The specimens were prepared according to ASTM standards to ensure consistency and reliability. The primary objective of this study was to understand how production parameters influence the mechanical properties of GFR-PP composites. The results indicated that the combination of low pressure (10 bar) and longer durations (20 minutes) led to superior flexural strength and enhanced fiber-matrix adhesion due to optimized consolidation, with a maximum flexural strength exceeding 500 MPa. In contrast, higher pressure levels (30 bar) resulted in fiber deformation and reduced mechanical performance. This work provides critical insights into the optimization of production parameters to achieve high-performance GFR-PP composites, with potential applications in aerospace and other lightweight structural components requiring high mechanical strength and durability.

Keywords: “Glass fiber-reinforced polypropylene (GFRPP), three-point bending test, thermoplastic composites.”

1. Giriş

Kompozit malzemeler, son yıllarda havacılık, otomotiv ve gemi sanayinde yaygın bir şekilde kullanılmakta olup, kullanım alanları her geçen gün genişlemektedir. Bu sektörlerde kullanılan kompozit malzemeler, çelik ve alüminyum gibi izotropik malzemelere kıyasla daha yüksek eğilme rijitliği, düşük özgül ağırlık, üstün termal yalıtım özellikleri ve kolay tamir edilebilirlik gibi benzersiz avantajlar sunmaktadır[1]. Kompozit malzemeler, farklı polimerlerden, metallere veya seramik malzemelerden elde edilen karmaşık yapılardır. Bu malzemeler belirgin bir arayüzle ayrılmış iki veya daha fazla kimyasal ve fiziksel olarak farklı fazdan oluşan malzemeler olarak da tanımlanmaktadır [2]. Kompozit malzemeler havacılık, uzay, otomotiv, inşaat ve gemi sanayinde yaygın olarak kullanılmakta ve her geçen gün kullanımları artmaktadır[3]. Özellikle, kompozit malzemelerdeki gelişmeler roket gibi uygulamalar için çok önemli olmuştur. Kompozitleri ve gelişimlerini anlamak araştırmacılar için hayati önem taşımaktadır[4]. Günümüzde uygulama alanlarına ve ihtiyaç duyulan mekanik özelliklere uygun şekilde üretilebilmektedir. Farklı fiber ve matris kombinasyonları kullanılarak istenen özellikler malzemeye kazandırılabilir. Bu nedenle, kompozit malzemelerin kullanım alanları her geçen gün daha da genişlemektedir. Takviye elyafının türü, matris malzemesinin bileşimi, kullanılan üretim süreci, elyafların oryantasyonu ve spesifik son kullanım uygulaması yer alır. Bu sınıflandırma değişkenleri, mühendislere özel ihtiyaçları için en uygun malzeme ve üretim tekniklerini belirlemek ve seçmek için çok yönlü bir yapı sunmaktadır[5].

¹ Corresponding Author
E-mail Address: ucaliskan@erciyes.edu.tr

Matris, yükün kohezyonunu ve yönelimini sağlamaktadır. Matris termoplastik, termoset ve/veya elastomer tipinde olabilir. Matris seçimi, kompozit malzemenin amaçlandığı kullanıma bağlıdır. Matrisin rolü, takviye elyafı birbirine bağlamak, kısıtlamaları dağıtmak, yapının kimyasal direncini sağlamak ve nihai ürüne istenen şekli vermektir. Bu şekilde elde edilen malzemeler çok heterojen ve genellikle anizotropik yapıdadır. Matrisin ve yükün doğası, yükün şekli ve oranı, arayüzün kalitesi ve kullanılan üretim süreci, kompozit malzemenin özelliklerini etkileyebilecek parametrelerdir. Matris ve takviye metalik, seramik veya plastik olabilir, bu da çok sayıda kombinasyon oluşumunu sağlamaktadır[6]. Yüksek sıcaklık termoplastikleri içeren malzeme kompozisyonları matris reçinesi olarak, yüksek sıcaklık ve kimyasal kararlılığın genellikle özel sürtünme ve aşınma özellikleriyle birleştirilmesinin gerekli olduğu havacılık endüstrisi, açık deniz teknolojisi ve kimya mühendisliği gibi uygulamalarda tercih edilmektedir[7].

Son yıllarda polipropilen, olağanüstü özellikleri, maliyet etkinliği ve işleme kolaylığı nedeniyle en yaygın kullanılan termoplastik polimerlerden biri olmuştur[8]. Yıllar içinde polipropilenin geliştirilmesi ve kullanımında önemli ilerlemeler kaydedilmiş olması çeşitli sektörlerde yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır[9]. PP, yarı şeffaf beyaz katı bir malzemedir. Soğuk organik çözücülerde çözünmez, sıcak çözücülerde yumuşar. Birçok kez bükülse bile sertliğini korur. Antioksidan eklenmediğinde, ısı ve ışığın etkisiyle bozulur. Yapısının çok düzenli olması nedeniyle kolay renklendirilemez. İyi bir elektriksel dirence sahiptir, düşük su absorpsiyonu ve geçirgenliği vardır. -9,4 °C'nin altında kırılındır. Mantar ve bakterilere karşı dayanıklıdır. 60 °C'ye kadar kuvvetli asit ve bazlara dayanıklıdır ancak klor, nitrik asit ve diğer güçlü oksitleyicilerden etkilenir. Yakılabılır ama yavaş yanar. Zehirsizdir ve gıda tüzüğüne uygundur. Düşük yoğunluk, yüksek darbe dayanımı, kimyasallara karşı yüksek mukavemet, iyi elektriksel yalıtım, yüksek mekanik mukavemet, düşük nem alma, makul fiyat ve işlem kolaylığı temel özelliklerindedir[10].

Kompozit malzemelerin üretiminde düşük yoğunlukları, yüksek darbe dayanımları, yüksek aşınma dayanımları, yüksek yorulma dayanımları ve yüksek titreşim sönümlenme özellikleri nedeniyle cam, karbon, aramid elyaf takviyeli kompozit malzemelerin kullanımı hızla artmıştır. Elyaf genellikle bir kompozitteki elyaf ve matris arasındaki yapışma kalitesini iyileştirmek için kimyasal veya elektrolitik oksidasyon yöntemleriyle yüzey işlemine tabi tutulmaktadır. Cam elyafı, erimiş camın çok ince ipliklere çekilmesi ve ardından çekme işlemiyle oluşturulan yapıyı korumak için bunların atmosferle veya sert yüzeylerle temastan hemen korunmasıyla üretilmektedir. Cam elyaf, inorganik elyaf kadar güçlüdür ancak moleküler yapıları nedeniyle sert yapıda değildir. Cam elyaf, düşük yoğunluklu, mükemmel mekanik özelliklere sahip ve oldukça uygun maliyetli olmaları nedeniyle çoğunlukla takviye olarak kullanılmaktadır [11]. Cam elyaf, lifler dik konumda olduğunda PEI gibi polimerlerin aşınma direncini artırmada potansiyel etki göstermiştir [12].

Termoplastik malzemeler, modern sanayinin birçok alanında yaygın olarak kullanılmaktadır ve bu yaygınlık, onların çeşitli özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Bu malzemeler, ısıtıldıklarında yumuşayarak şekil alabilen ve soğuduktan sonra sertleşen özellikleri sayesinde farklı uygulamalar için uygun hale gelmektedir. Özellikle, üretim süreçlerinde sağladıkları esneklik ve hızlı şekil alma yetenekleri, termoplastiklerin tercih edilmesinde önemli bir etken olmaktadır. Elyaf takviyeli polimer kompozitler, mukavemet ve sertlik açısından sahip oldukları avantajlar nedeniyle havacılık, denizcilik, ulaştırma ve savunma gibi çeşitli endüstrilerde yoğun olarak kullanılmaktadır[13]. Elyaf takviyeli polimer kompozitlere olan talep artmasına paralel olarak, termoset muadillerinin baskın olduğu birçok sektörde termoplastik matrislere olan ilgi yeniden artmaktadır[14]. Termoplastik matrislerinin geri dönüştürülebilirlik, kaynaklanabilirlik ve termoform edilebilirlik açısından Termoset matrislerinden daha elverişli faydalar sağladığı uzun zamandır biliniyor olsa da yüksek erime viskoziteleri yüksek işleme sıcaklıkları ve basınçları gerektirmesi ve bu nedenle bunları çoğu sektör için maliyet açısından engelleyici ve uygulanamaz hale getirmektedir. Otomotiv sektöründe termoplastik matrisli malzemelerin kullanımının yaygınlaşması, uzay ve havacılık sanayisinde de benzer bir artışa yol açmıştır. 2000 yılında Avrupa Havacılık Araştırmaları Danışma Konseyi, havacılık sektöründe CO2 emisyonlarını azaltmaya yönelik bir karar almış ve bu doğrultuda uçak, helikopter ve uzay araçları için yeni malzemeler geliştirilmeye başlanmıştır. Bu süreçte, geliştirilen malzemelerin üretim yöntemlerinin çevre dostu olması kritik bir öneme sahip olmuştur. Örneğin, 2007 yılında Airbus A350 ve Boeing B787 modellerinin yapısının %50-53'lük bölümü (motor parçaları hariç) kompozit malzemelerden üretilmiştir. Günümüzde bu malzemeler, uçak kapıları, ana kanat yapısı, kanatçıklar, flapler, spoilerlar, slatlar ve uçakların iç aksamlarında yaygın olarak kullanılmaktadır[15]. Termoplastik matrisli elyaf takviyeli kompozitler, erimiş haldeki yüksek viskoziteleri nedeniyle sınırlı bir yapısal kullanım alanı bulmuş ve bu da takviye malzemesinin yeterince iyi ıslanmasını engelleyerek nihai ürünün mekanik özelliklerinin termosetlerle kıyaslanamayacak düzeyde kalmasına yol açmıştır. Bu durum, otomotiv, havacılık, ulaşım ve inşaat gibi çeşitli sektörlerde termosetlerin hâlâ baskın olmasına neden olmaktadır. Ancak, termoplastik kompozitlerin üretimini içeren yeni uygulamalar hızla artmakta ve bu sorunun çözümüne yönelik yeni yaklaşımlar sunulmaktadır [16]. Son 20 yılda termoplastik uygulamaları için birçok yeni teknik önerilmiş, geliştirilmiş ve değerlendirilmiştir ve son yıllarda, sürekli elyaf takviyeli termoplastik matris kompozitler, mükemmel özellikleri nedeniyle uçak, askeri ve havacılık endüstrilerinde başarıyla kullanılmaktadır[17]. Termoplastik kompozitler, termosetlere kıyasla daha yüksek tokluk, daha hızlı üretim ve her şeyden önce geri dönüştürülebilir yapı gibi bazı avantajlar sunar[18]. Tekrar tekrar ısıtılıp şekillendirilebildikleri için tamamen yeni ve otomatik bir üretime olanak sağlarlar[19].

Sürekli elyaf takviyeli termoplastik (CFRTP) kompozitler, yüksek performans, kısa işleme döngüsü, stoklama kolaylığı, onarım ve kaynak imkânı gibi avantajları nedeniyle endüstriyel uygulamalarda kullanılmaktadır [20]. CFRTP şekillendirme süreci, termoplastik reçinenin erime sıcaklığının üzerinde bir işleme sıcaklığında gerçekleştirilmektedir. Termoplastik matrisler, önemli avantajlar sunmaktadır. Genellikle ön şekillendirme süreçlerinden geçirilerek levha formunda ya da prepreg adı verilen önceden reçine emdirilmiş ürünler halinde üretilirler. Termoplastik matrislerin en önemli avantajlarından biri, termosetlerin

aksine özel depolama gerektirmemesi ve uzun süre saklanabilir olmasıdır. Ayrıca, bu malzemelerin ısı işlemlerle kolayca şekillendirilebilmesi, endüstriyel süreçlerde çevrim sürelerini kısaltarak verimliliği artırır. Termoplastik yapıların bulunduğu bu esneklik, aynı zamanda üretim maliyetlerini azaltırken geri dönüşüm olanaklarını da genişleterek sürdürülebilir üretim hedeflerine katkı sağlar. Birçok akademik çalışmaya konu olan sürekli elyaf takviyeli termoplastik kompozit malzemeler, sahip oldukları yüksek dayanım ve düşük yoğunluk avantajları ile otomotiv endüstrisinde yürütülen metal malzemelere alternatif malzeme olma konusunda ön plana çıkmaktadırlar. Termoplastik kompozit malzemelere uygulanan mekanik etki sırasında gözlemlenen, matris kırılması, matris-elyaf arası bağların kırılması, katmanlar arası kayma eğilimi ve elyaf kırılması adımlarının, metal malzemelere uygulanan mekanik etki sırasında gözlemlenen katlanma ve burulma adımlarına benzer mekanik davranış olması termoplastik SETK malzemelerin metal malzemelere alternatif olabileceğinin en iyi kanıtı olarak gösterilmektedir[21].

Çakır ve Berberoğlu tarafından yapılan çalışmada[22], cam elyaf takviyeli epoksi matrisli kompozit malzemelerde elyaf oranının mekanik özellikler üzerindeki etkisini incelemektedir. Araştırmada, vakum destekli reçine transfer metodu (VARTM) kullanılarak, hacimce %30, %40, %50 ve %60 oranlarında cam elyaf içeren kompozit plakalar üretilmiştir. Matris malzemesi olarak Epikote 828 epoksi reçinesi tercih edilmiştir. Numuneler ASTM standartlarına uygun olarak hazırlanmış ve çekme, darbe, üç nokta eğme testlerine tabi tutulmuştur. Sonuçlar, elyaf oranındaki artışın maksimum gerilme, elastik modül ve darbe dayanımı gibi mekanik özelliklerde belirgin bir iyileşme sağladığını göstermiştir. Örneğin, elyaf oranının %30'dan %60'a çıkarılması elastik modülde %47'lik bir artış sağlamıştır. Üç nokta eğme testinde, eğilme dayanımının lineer olarak yaklaşık iki kat arttığı gözlemlenmiştir. Bu çalışma, cam elyaf oranının kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini optimize etmede kritik bir rol oynadığını ve VARTM yöntemi ile başarılı üretimin %60 cam elyaf oranına kadar mümkün olduğunu göstermektedir. Araştırma, hafif ve yüksek mukavemetli malzemelere olan talebi karşılamak adına önemli katkılar sunmaktadır.

Sathishkumar ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada[23], cam elyaf takviyeli polimer (GFRP) kompozitlerin özelliklerini ve uygulamalarını incelemiştir. GFRP kompozitlerin hafifliği, yüksek mukavemeti ve çevresel dayanımı, onları havacılık ve otomotiv gibi sektörler için ideal kılmaktadır. Çalışmada, üretim tekniklerinin (örneğin, el yatırma, sıkıştırma kalıplama, VARTM) mekanik performans üzerindeki etkisi tartışılmıştır. Eğilme dayanımı, GFRP kompozitlerin kritik bir mekanik özelliği olarak vurgulanmıştır. Elyaf hacim oranı ve yöneliminin eğilme mukavemetini doğrudan etkilediği belirtilmiştir. Ayrıca, VARTM gibi üretim yöntemlerinin, homojen bir elyaf-matris dağılımı sağlayarak eğilme performansını optimize ettiği görülmüştür. Çalışmada, çevresel faktörlerin (nem ve sıcaklık) GFRP'nin eğilme davranışı üzerindeki olumsuz etkileri de ele alınmıştır. Bu çalışma, GFRP kompozitlerin eğilme dayanımı gibi mekanik özelliklerinin üretim parametreleriyle optimize edilebileceğini ve bu malzemelerin mühendislik uygulamalarında sunduğu potansiyeli ortaya koymaktadır.

Kabiri ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada[24], cam elyaf/polipropilen (GF/PP) kompozitlerinin mekanik özelliklerini ve ortopedik sabitleme plakalarında potansiyel kullanımını incelemiştir. Çalışmada kısa, uzun ve iplik formundaki cam elyaflarla üretilen kompozitlerin mekanik davranışları, çekme, eğilme, basma, kayma ve darbe testleri ile değerlendirilmiştir. Eğme testleri, özellikle uzun cam elyaf içeren PPLGF numunelerinin en yüksek performansı sergilediğini ortaya koymuştur. PPLGF, 185 MPa eğilme dayanımı ve 20,10 GPa elastik modül ile diğer numunelere üstünlük sağlamıştır. Bu yüksek değerler, cam elyafların tek yönlü düzenlenmesiyle elde edilen yapı ile açıklanmıştır. Bu özellikler, PPLGF'nin ortopedik sabitleme plakalarında kemik kaynamasını desteklemek için ideal bir malzeme olduğunu göstermektedir. Çekme ve basma testlerinde, tüm GF/PP kompozitlerinin kortikal kemiğe benzer mekanik özellikler sergilediği gözlemlenmiştir. Bu, stres birikimlerini azaltarak daha iyi biyomekanik uyum sağlama potansiyeline işaret etmektedir. Kayma ve darbe testleri, PPLGF'nin üstün dayanıklılık ve enerji emme kapasitesi sunduğunu göstermiştir. Bu çalışma, GF/PP kompozitlerin sabitleme plakaları için hafif, dayanıklı ve biyomekanik olarak uyumlu bir alternatif sunduğunu ve eğilme dayanımı açısından özellikle PPLGF'nin en uygun seçenek olduğunu vurgulamaktadır.

Bu çalışmada, cam elyaf takviyeli polipropilen (GFR-PP) kompozitlerin eğilme dayanımı üzerine, üretim parametrelerinin etkisi araştırılmıştır. Havacılık gibi hafiflik ve yüksek mukavemet gerektiren sektörlerde GFR-PP'nin kullanım potansiyelini değerlendirmek amacıyla, malzeme üretiminde iki temel parametre incelenmiştir: basınç (10, 20, 30 bar) ve basınç altında kalma süresi (5, 10, 20 dakika). Eğme testleri için malzeme kalınlığı 4 mm olarak sabit tutulmuştur. Üç nokta eğilme testleri, malzemenin eğilme dayanımı üzerindeki etkisini anlamak amacıyla gerçekleştirilmiştir. ASTM standartlarına uygun olarak hazırlanan test numuneleri ile elde edilen sonuçlar, üretim parametrelerinin eğilme dayanımı üzerindeki etkilerini ortaya koymayı hedeflemiştir. Bu çalışma, üretim süreçlerinin optimize edilmesi yoluyla GFR-PP kompozitlerin eğilme mukavemetinin artırılabilceğini ve bu malzemelerin mühendislik uygulamaları için uygunluğunu göstermeyi amaçlamaktadır.

2. Deneysel Prosedür

2.1. Numune Üretimi

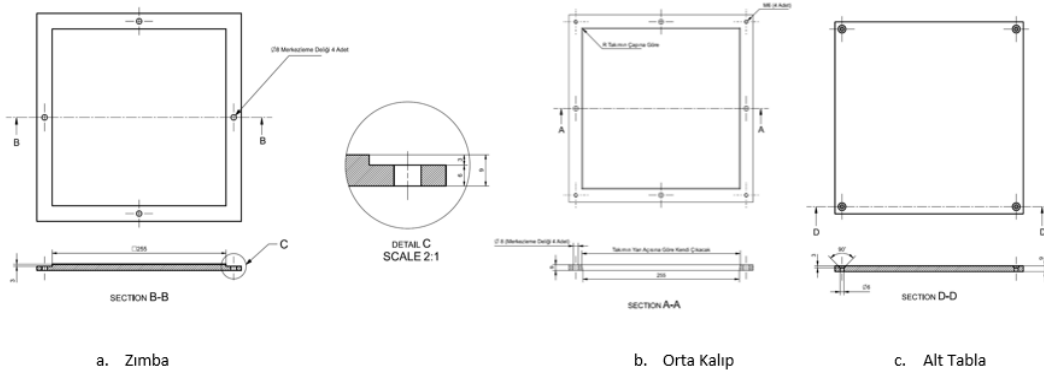
Bu çalışmada kullanılan GFR-PP prepreg malzeme, Durform İzolasyon ve Ambalaj Sanayi Ticaret A.Ş. tarafından üretilmiştir. Araştırma kapsamında cam elyaf takviyeli polipropilen (GFR-PP) prepreg malzeme kullanılmıştır. Bu malzeme tek yönlü yönelime sahip prepreg halinde temin edilmiş olup, üretim süreci öncesinde kalıba uygun boyutlarda hazırlanmıştır. Malzemenin standartlaştırılması amacıyla 25 x 25 mm boyutlarında kesimler yapılmış ve üretim sürecine hazırlanmıştır. Kesim

işlemi, malzemenin kalıp içerisine düzenli ve doğru bir şekilde yerleştirilebilmesi için titizlikle gerçekleştirilmiştir. Bu ön hazırlık süreci, üretim sırasında malzeme kalınlığının kontrolü ve homojen bir numune elde edilmesi açısından kritik bir rol oynamaktadır.



Şekil 1. GFR-PP prepeg.

Üretim sürecinde, 4 mm kalınlığında numuneler elde etmek hedeflenmiştir. Bunun için kademeli bir yapıya sahip özel bir kalıp kullanılmıştır (Şekil 2). Kullanılan kalıbın numune alanı, tasarım gereği 6 mm genişliğe sahiptir. Ancak nihai numune kalınlığının 4 mm olması gerektiği için, bu farkı dengelemek amacıyla kalıp içerisine 25 x 25 mm boyutlarında, önceden hazırlanmış bir destek sac levhası yerleştirilmiştir. Bu destek sacı, kalınlık kontrolünü sağlayarak üretim sürecinde hedeflenen hassasiyete ulaşılmasına olanak tanımıştır.

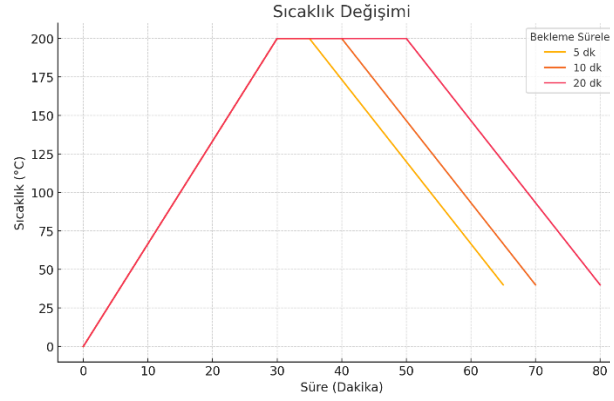


Şekil 2. Levhaların üretiminde kullanılan kademeli kalıp teknik resmi.

Her bir 4 mm kalınlığındaki numunenin üretimi için kalıp içerisine 14 tabaka 25 x 25 mm boyutlarında kesilmiş cam elyaf takviyeli polipropilen prepeg yerleştirilmiştir. Bu işlem, malzemenin mekanik özelliklerinin homojen bir şekilde oluşmasını sağlamak için dikkatle uygulanmıştır. Üretim sırasında, toplam 9 adet 4 mm kalınlığında ve 25 x 25 mm boyutlarında kompozit levha üretilmiştir. Her bir numune için aynı süreç tekrarlanmış ve üretim prosedürlerinin sürekliliği korunmuştur. Bu yaklaşım, elde edilen numunelerin karşılaştırılabilir olmasını ve test sonuçlarının güvenilirliğini artırmıştır. Üretilen 9 adet numune, farklı basınç ve süre kombinasyonlarına göre hazırlanmıştır (Tablo 1). Bu kapsamda, sıcak pres uygulaması sırasında üç farklı basınç (10, 20 ve 30 bar) ve üç farklı süre (5, 10 ve 20 dakika) kombinasyonları kullanılmıştır. Böylelikle, toplamda 9 farklı numune aşağıdaki şekilde üretilmiştir.

Tablo 1. Konfigürasyon Tablosu.

Bar	Süre(Dakika)
10	5
	10
	20
20	5
	10
	20
30	5
	10
	20



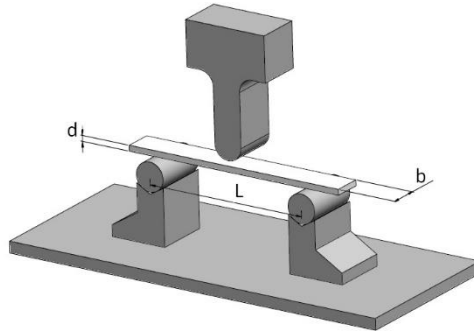
Şekil 3. Sıcak pres ve sıcaklık değişimi.

Bu farklı parametrelerin kullanılmasındaki amaç, üretim parametrelerinin malzemenin mekanik özellikleri üzerindeki etkisini incelemektir. Basınç ve sürenin değişken olarak kullanılması, malzemenin mukavemeti, dayanıklılığı ve yüzey kalitesindeki farklılıkları değerlendirmek için önemli veriler sağlamaktadır. Üretim süreci, sıcak pres teknolojisi kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 3). Bu işlemde, kalıp içerisindeki malzeme 200°C sıcaklığa ulaşana kadar pres altında tutulmuştur. Sıcaklık artışı, polipropilen matris malzemenin yumuşamasını sağlayarak cam elyaf takviyesinin homojen bir şekilde matris içinde dağılmasına olanak tanımıştır. Gerekli sıcaklığa ulaşıldıktan sonra, malzeme üzerinde belirlenen basınç ve süre kombinasyonlarına uygun şekilde presleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu basınç ve süre koşulları, her bir numune için belirlenen üretim parametreleri doğrultusunda uygulanmıştır. Üretim sürecinin tamamlanmasının ardından elde edilen numuneler, hem fiziksel boyutlar hem de yüzey kalitesi açısından kontrol edilmiştir. Üretim prosedürü, hem malzeme özelliklerini hem de uygulanan basınç ve sıcaklık gibi üretim parametrelerini optimize etmek amacıyla titizlikle planlanmıştır. Bu süreçte kullanılan yöntem ve teknikler, hem akademik hem de endüstriyel üretim standartları göz önünde bulundurularak tasarlanmıştır.

Sonuç olarak, toplam 9 adet kompozit numune başarıyla üretilmiş ve sonraki test aşamaları için hazırlanmıştır. Bu numuneler, çalışmanın deneysel kısmında kullanılacak ve elde edilen sonuçlar, malzemenin mekanik performansı ile üretim parametreleri arasındaki ilişkiyi değerlendirmek için analiz edilecektir.

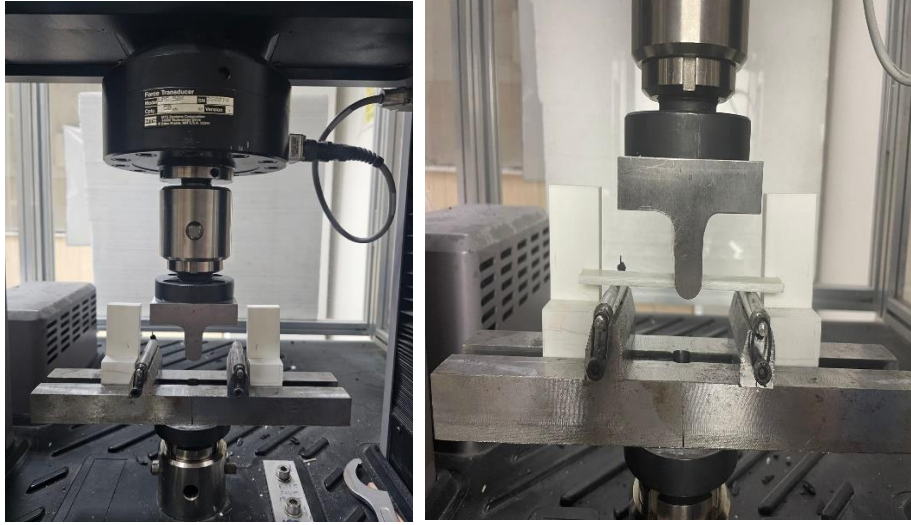
2.2. 3 Nokta Eğme Testi

Kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini değerlendirmek için yapılan üç noktalı eğilme testi, malzemenin gerilme kapasitesi ve deformasyon davranışını analiz etmek amacıyla tercih edilen standart bir yöntemdir. Bu çalışmada kullanılan üç noktalı eğilme testi, ASTM D790 standardına uygun şekilde gerçekleştirilmiştir. Test sürecinde, dikdörtgen kesitli numuneler düz bir hat üzerinde yerleştirilmiş iki destek üzerine yerleştirilmiş, açıklığın ortasına sabit bir gerinim hızı ile yük uygulanmıştır. Gerinim hızı, hareketli çene hızına göre belirlenmiş olup, tüm numunelerde 1 mm/dk sabit hız kullanılarak testin doğruluğu ve tekrarlanabilirliği sağlanmıştır.



Şekil 4. 3 nokta eğme testi şematik gösterimi ve numune boyutlandırması.

Test düzeneklerinde destek uzunluğu/derinlik oranı, 32:1 olacak şekilde korunmuştur. Bu oran, ASTM D790 standardı gereklilikleri doğrultusunda belirlenmiş ve test sonuçlarının doğruluğunu sağlamak adına dikkatle uygulanmıştır. Numunelerin yerleştirildiği iki destek arasındaki açıklık (destek açıklığı) 96 mm olarak ayarlanmış, test edilen kirişin genişliği ise 12,7 mm olarak sabitlenmiştir. Test sırasında numuneler, ya dış yüzeyde kırılma gerçekleşene kadar ya da maksimum %10,0 gerinim seviyesine ulaşana kadar eğilmeye devam etmiştir. Bu parametreler, malzemenin hem elastik hem de plastik deformasyon davranışını analiz etmek için kritik önem taşımaktadır.



Şekil 5. Üç nokta eğme test aparatı ve cihazı.

Çalışma kapsamında, farklı üretim parametrelerine göre hazırlanan toplam 9 farklı parametreyle üretilmiş test numuneleri kullanılmıştır. Her bir parametre, test sırasında meydana gelebilecek olası hataları önlemek ve sonuçların güvenilirliğini artırmak amacıyla, kendi içinde 3 adet numune barındıracak şekilde tasarlanmıştır. Bu planlama ile toplamda 27 adet test numunesi elde edilmiştir. Üçer numunelik bu tekrar yapısı, her bir parametre için eğilme gerilmesi, ve eğilme şekil değiştirme kapasitesinin ortalama değerlerini belirlemek açısından önemlidir. Aynı zamanda bu yaklaşım, her bir üretim parametresinin test sonuçları üzerindeki etkisini daha kesin bir şekilde değerlendirme olanağı sunmaktadır.

Eğilme Gerilmesi;

$$\sigma_f = \frac{3PL}{2bd^2} \quad (1)$$

Eğilme Şekil Değiştirmesi;

$$\varepsilon_f = \frac{6Dd}{L^2} \quad (2)$$

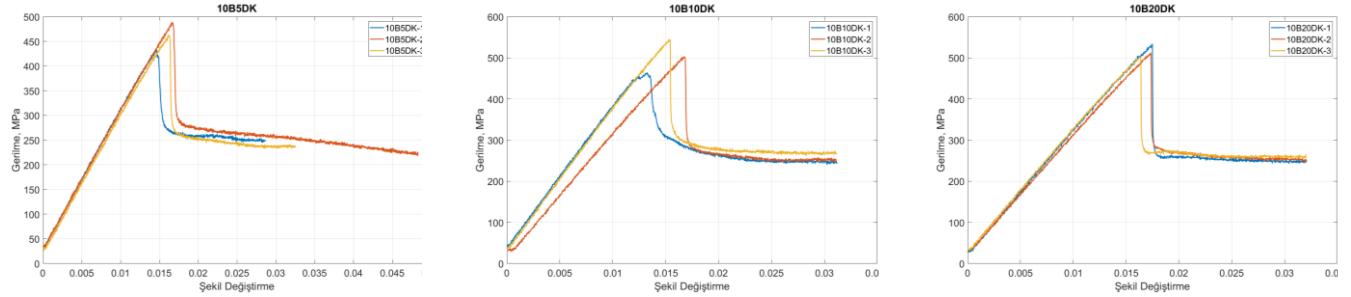
Test sırasında numunelerin mekanik davranışlarını temsil eden çeşitli parametreler hesaplanmıştır. Gerilim (σ), numunenin orta noktasındaki dış liflerde oluşan gerilimi ifade etmektedir ve bu değer, yük-sapma eğrisi boyunca farklı noktadaki yükler (P) ile ilişkilendirilmiştir. Destek açıklığı (L), test sırasında numunenin yerleştirildiği iki destek arasındaki mesafeyi ifade ederken, genişlik (b) ve kalınlık (d) numunenin kesit boyutlarını tanımlamaktadır. Ayrıca, şekil değiştirme (ε), kirişin dış yüzeyinde meydana gelen deformasyonu temsil ederken, maksimum sapma (D) numunenin orta noktasındaki en büyük yer değiştirmeyi ifade etmektedir. Şekil 5’de test sırasında kullanılan düzenek ve cihaz gösterilmektedir. Düzenek, testin standartlara uygun bir şekilde gerçekleştirilmesi ve tekrarlanabilir sonuçlar alınabilmesi için özel olarak tasarlanmıştır. Tüm test süreçleri, ASTM D790 yönergelerine uygun bir şekilde gerçekleştirilmiş ve numunelerin elastik/plastik davranışlarını anlamak için gerekli tüm veriler toplanmıştır. Böylelikle, malzemenin performansı ile üretim parametreleri arasındaki ilişki net bir şekilde ortaya konulmuştur.

3. Sonuçlar

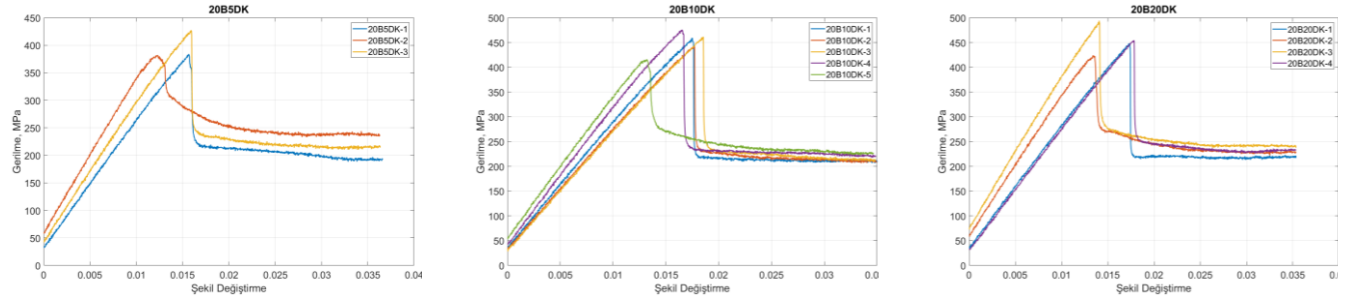
Üç nokta eğme testi sonuçlarına göre, üretim parametreleri olan basınç ve süre, termoplastik kompozit numunelerin mekanik özelliklerini belirgin bir şekilde etkilemiştir. Şekil 6, 10, 20 ve 30 bar altında üretimi yapılan farklı üretim parametrelerine sahip termoplastik kompozitlerin tekrarlı 3 nokta eğme sonuçları gerilme-şekil değiştirme eğrileri açısından göstermektedir. 10 bar basınç altında üretilen numuneler (10B5DK, 10B10DK, 10B20DK) arasında, üretim süresi arttıkça gerilme kapasitesinde önemli

bir artış gözlemlenmiştir. 10B5DK, kısa üretim süresi nedeniyle yaklaşık 400 MPa gerilme kapasitesine ulaşmış, ancak deformasyon kapasitesi sınırlı kalmıştır. 10B10DK, 450 MPa seviyesinde daha yüksek bir dayanım ve dengeli bir deformasyon kapasitesi sergilemiştir. En yüksek performans ise, 10 bar altında 20 dakika süreyle üretilen 10B20DK numunesinde elde edilmiştir; bu numune, yaklaşık 500 MPa seviyesini aşarak en yüksek gerilme kapasitesine ulaşmıştır.

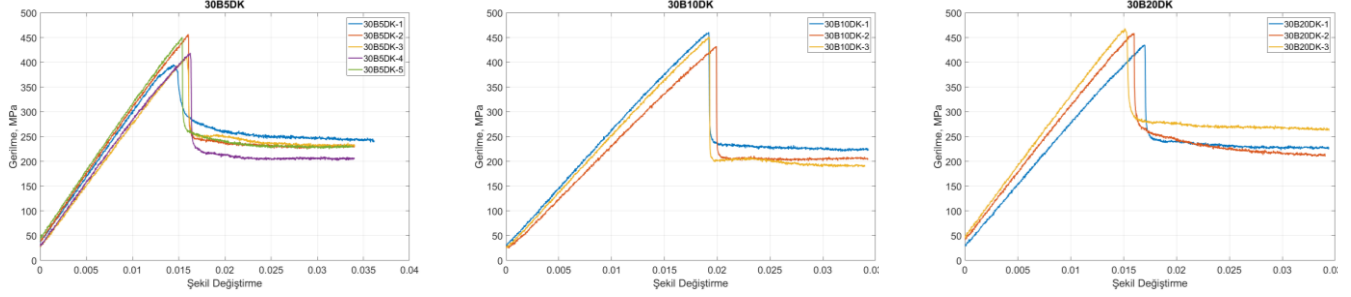
20 bar basınç altında üretilen numuneler (20B5DK, 20B10DK, 20B20DK) arasında, üretim süresi arttıkça mekanik özelliklerde iyileşme gözlemlenmiştir. 20B5DK numunesi, yaklaşık 350-400 MPa gerilme kapasitesine ulaşmıştır. 20B10DK numunesinde gerilme kapasitesi yaklaşık 400-450 MPa seviyesine çıkmış ve deformasyon kararlılığı artmıştır. En iyi mekanik performans ise 20B20DK numunesinde gözlenmiş ve bu numune, 450 MPa gerilme kapasitesine bir davranış sergilemiştir.



10 Bar



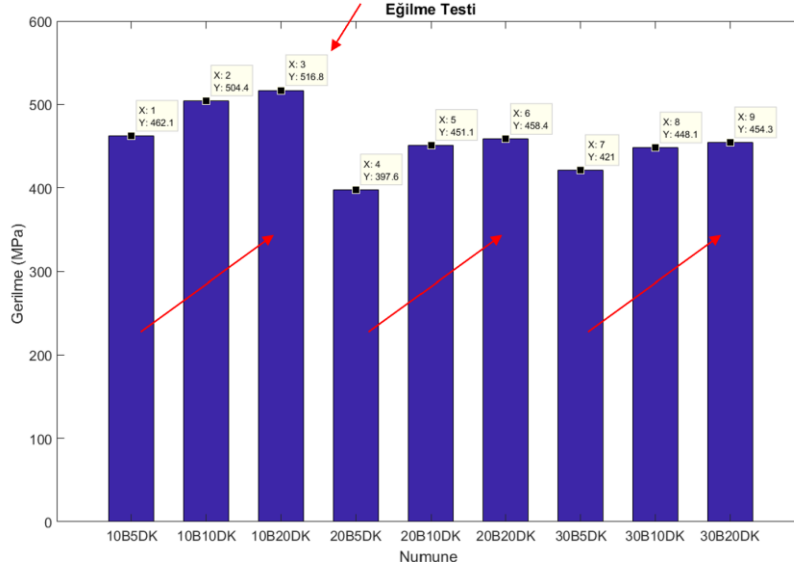
20 Bar



30 Bar

Şekil 6. 10, 20 ve 30 Bar altında üretimi yapılan farklı üretim parametrelerine sahip termoplastik kompozitlerin tekrarlı 3 nokta eğme sonuçları.

30 bar basınç altında üretilen numunelerde (30B5DK, 30B10DK, 30B20DK), en yüksek gerilme kapasitesinin 450 MPa seviyesinde olduğu ve basınç arttıkça maksimum dayanım seviyesinin 10 bar altında üretilen numunelere kıyasla düşük kaldığı görülmüştür. 30B5DK, kısa üretim süresinin etkisiyle sınırlı bir deformasyon kapasitesine sahiptir. 30B10DK numunesi, 450 MPa seviyesine yaklaşan bir gerilme kapasitesi ve dengeli bir mekanik dayanım sunmuştur. Benzer performans ise, 30 bar altında 20 dakika süreyle üretilen 30B20DK numunesinde gözlenmiş ve bu numune, yaklaşık 450 MPa gerilme kapasitesine ulaşmıştır. Ancak, bu kapasite, 10B20DK'nın sağladığı 500 MPa seviyesine ulaşamamıştır.

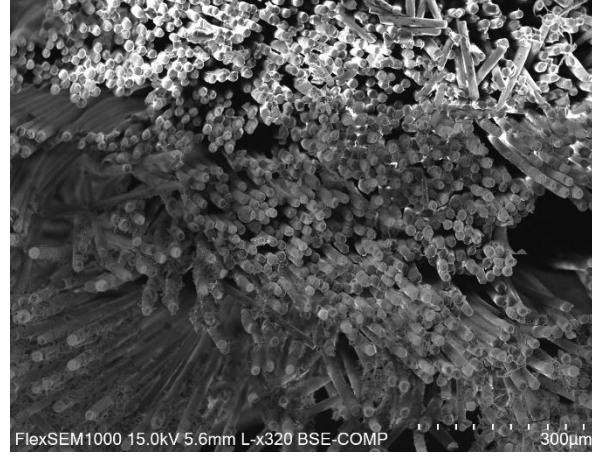
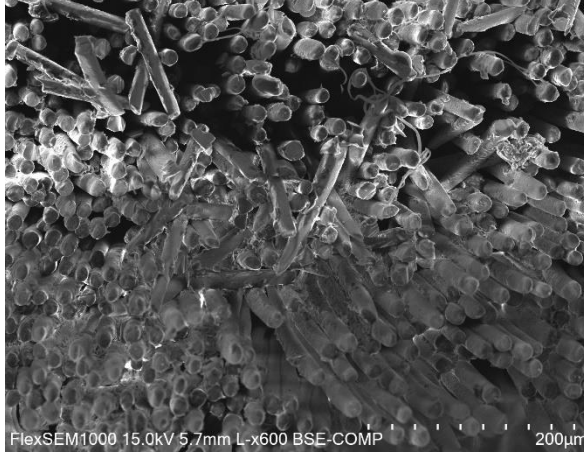


Şekil 7. Farklı üretim parametrelerine ait termoplastik kompozitlerin ortalama en büyük eğilme dayanımları.

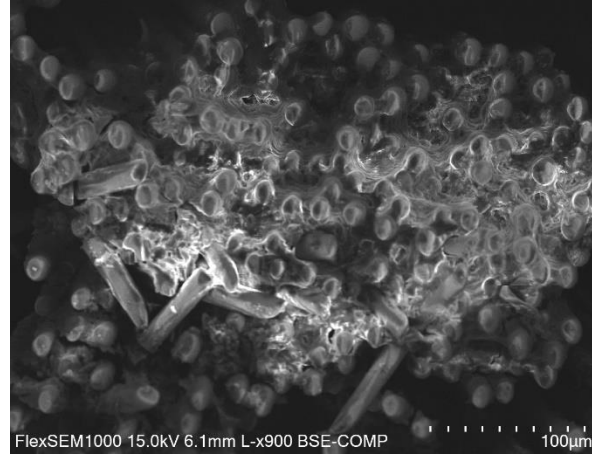
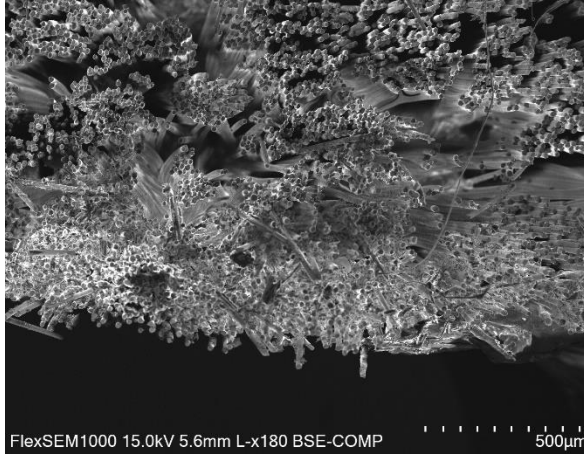
Şekil 7 farklı üretim parametrelerine ait termoplastik kompozitlerin ortalama en büyük eğilme dayanımları göstermektedir. Üretim parametrelerinin etkilerinin incelendiği bu çalışmada, üretim sırasında uygulanan basınç ve süre değişkenleri, termoplastik kompozit malzemelerin mekanik dayanımı üzerinde belirgin bir etkiye sahiptir. Düşük basınç ve uzun süre kombinasyonunun mekanik dayanım üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Özellikle 10 bar basınç altında 20 dakika süreyle üretilen numune (10B20DK), 500 MPa'yı aşan gerilme kapasitesiyle tüm test edilen numuneler arasında en yüksek dayanımı göstermiştir. Bu durum, düşük basınç seviyesinde liflerin aşırı ezilmesinin engellenmesi ve lif-matris bağlanmasının optimum düzeye ulaşmasıyla açıklanabilir. Daha yüksek basınç seviyelerinde (20 ve 30 bar), lifler arasındaki ezilmenin artması ve bu durumun bağlanma kalitesini olumsuz etkilemesi nedeniyle gerilme kapasitesinin 450 MPa seviyesinde sınırlı kaldığı gözlemlenmiştir. Ancak, tüm basınç seviyelerinde üretim süresinin artışı, gerilme kapasitesinde iyileşmelere yol açmıştır. Bu da süre artışının, lif-matris bağlanmasını ve malzeme yoğunluğunu optimize ederek mekanik özellikleri geliştirdiğini göstermektedir. Genel olarak, düşük basınç ve uzun süreli üretim koşulları, optimum mekanik performans için en uygun parametreler olarak değerlendirilmektedir. Yapılan testlerden elde edilen sonuçlar, termoplastik kompozitlerin üretim sürecinde uygulanan basınç ve süre kombinasyonlarının mekanik dayanım üzerinde belirgin bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Aynı basınca maruz kalan numunelerde, basınca maruz kalma süresinin artmasıyla birlikte maksimum gerilme kapasitelerinde belirgin bir artış gözlemlenmiştir. Bu durum, üretim süresinin uzamasıyla kompozit yapının konsolidasyon sürecinin tamamlanması ve fiber-matris bağlanmasının daha verimli bir şekilde gerçekleşmesiyle açıklanabilir. Özellikle, 10 bar basınç altında 20 dakika süreyle üretilen numunede (10B20DK), maksimum 516.8 MPa gerilme kapasitesine ulaşılmış ve bu, tüm test edilen numuneler arasında en yüksek değer olarak kaydedilmiştir. Bu sonuç, düşük basınç koşullarının fiber-matris etkileşimini optimize ederek malzemenin dayanımını artırdığını göstermektedir.

Buna karşılık, basıncın artmasıyla birlikte fiber-matris arasındaki etkileşimde bir değişim meydana gelmiş ve bu durum, mekanik dayanım değerlerine olumsuz yansımıştır. Daha yüksek basınç seviyelerinde (20 ve 30 bar), lifler arasındaki ezilmenin artması ve bu ezilmenin lif-matris bağlanmasını zayıflatması nedeniyle maksimum gerilme kapasiteleri sırasıyla 458.4 MPa (20B20DK) ve 454.3 MPa (30B20DK) seviyelerinde sınırlı kalmıştır. Bu sonuçlar, yüksek basınç uygulamalarında liflerin mekanik bağlanma performansını sınırlayabileceğini ortaya koymaktadır. Genel olarak, süre artışının tüm basınç seviyelerinde gerilme dayanımını artırdığı gözlemlenmiştir. Bu durum, üretim sürecindeki konsolidasyon süresinin termoplastik kompozitlerin mekanik özelliklerini iyileştirmedeki kritik önemini vurgulamaktadır. Bununla birlikte, en yüksek dayanımın 10 bar altında elde edilmesi, düşük basınç koşullarının fiber-matris bağlanmasındaki avantajlarını göstermektedir. Üretim süreçlerinde basınç ve süre parametrelerinin optimize edilmesi, termoplastik kompozitlerin performansını artırmak için önemli bir faktör olarak değerlendirilmektedir.

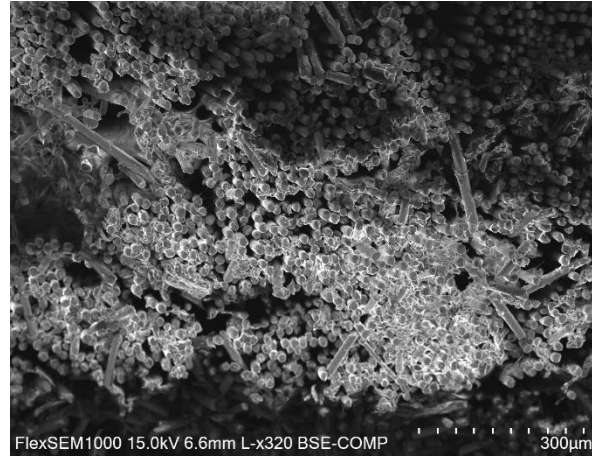
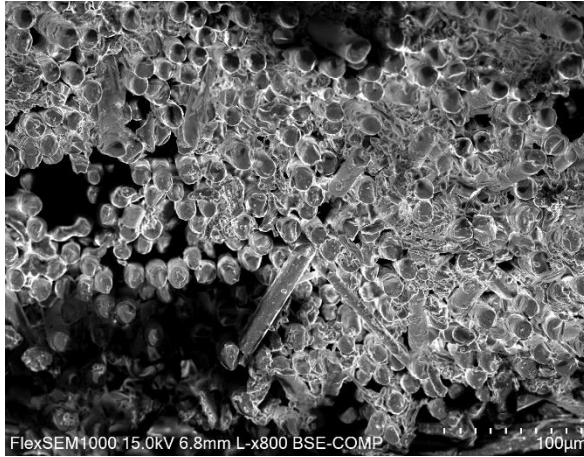
Şekil 8, 10 Bar basınç ve farklı sürelerde konsolide edilmiş GFR-PP termoplastik kompozit levhaların SEM görüntülerini vermektedir. En büyük eğilme gerilme değerlerinin 10 Bar basınç altında gerçekleşmesi nedeni ile ilgili basınç seviyesinde kompozitlerin mikro yapı analizleri gerçekleştirilmiştir. 10 bar altında 5 dakika süreyle üretilen numune (10B5DK), üretim süresinin kısa olması nedeniyle matris içerisinde belirgin boşluklar (voids) göstermiş ve lif-matris bağlanmasının sınırlı olduğu bir mikroyapı sergilemiştir. Bu durum, konsolidasyonun yeterince tamamlanmadığını ve mekanik dayanımı olumsuz etkileyebilecek bir yapı oluştuğunu göstermektedir. 10 bar altında 10 dakika (10B10DK) süreyle üretilen numunede, boşlukların azaldığı ve lif-matris tutulumunun daha homojen hale geldiği gözlemlenmiştir. Sürenin artışı, konsolidasyon sürecini geliştirerek mikroyapısal iyileşme sağlamıştır. 10 bar altında 20 dakika (10B20DK) süreyle üretilen numunede ise boşlukların tamamen ortadan kalktığı ve lif-matris bağlanmasının en iyi seviyeye ulaştığı görülmüştür.



10 Bar- 5 dk



10 Bar-10 dk

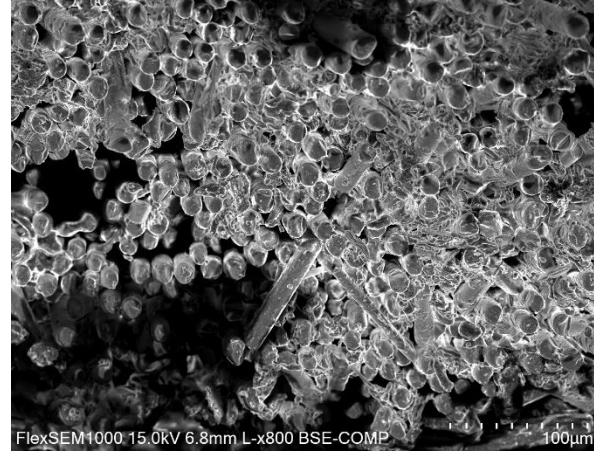
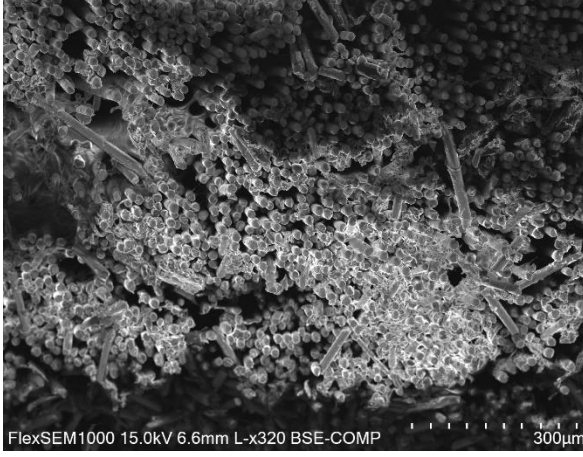


10 Bar-20 dk

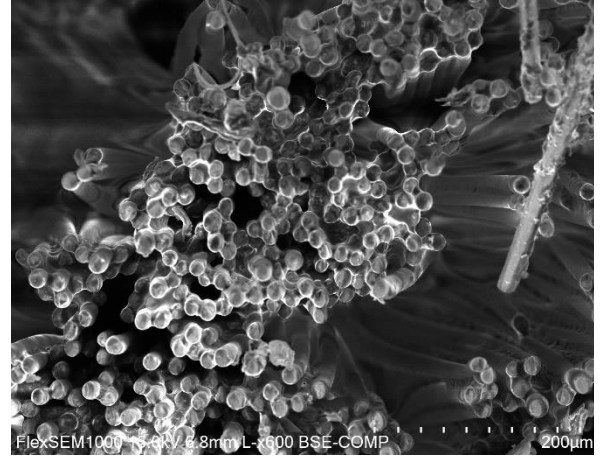
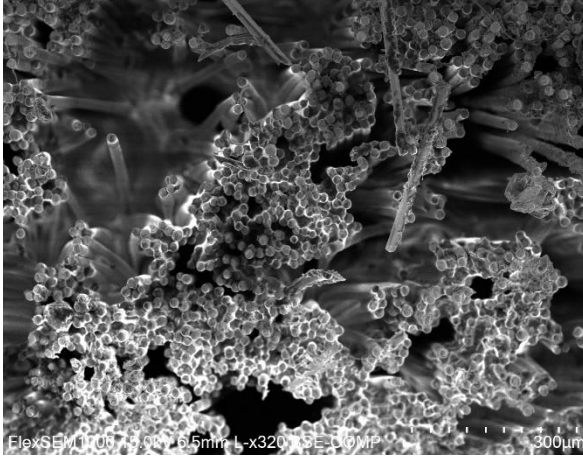
Şekil 8. 10 Bar basınç ve farklı sürelerde konsolide edilmiş GFR-PP termoplastik kompozit levhalar SEM görüntüleri.

Üretim süresinin uzun olması, homojen bir matris dağılımı sağlayarak mikroyapısal bütünlüğü optimize etmiştir. Bu numune, yüksek mekanik dayanım açısından en uygun üretim parametresini temsil etmektedir. Buna karşılık, en yüksek basınç değeri olan 30 Bar basınç altındaki numunelerin mikro yapısı 20 dk süre ile üretilen kompozitler için karşılaştırılmıştır (Şekil 9). 30 bar altında 20 dakika (30B20DK) süreyle üretilen numunede, yüksek basıncın lif-matris bağlanmasında olumsuz etkiler yarattığı tespit edilmiştir. Bazı bölgelerde liflerin aşırı sıkışması ve matrisin deformasyona uğraması, homojenliği azaltmış ve ara yüzey bağlanmasını zayıflatmıştır. Süre uzun olmasına rağmen, yüksek basıncın yarattığı mikroyapısal baskılar nedeniyle bağlanma kalitesinin sınırlı kaldığı gözlemlenmiştir. Genel olarak, süre artışı mikroyapısal bütünlüğü ve homojenliği iyileştiren önemli bir faktör iken, basınç artışı bu iyileşmeyi olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Bu sonuçlar, düşük basınç ve uzun süre

kombinasyonunun lif-matris tutunumunu optimize ederek termoplastik kompozitlerin üretimi için daha uygun bir yol sağladığını göstermektedir.



10 Bar- 20 Dk



30 Bar-20 Dk

Şekil 9. 10 ve 30 bar basınç ve 20 dk sürede konsolide edilmiş GFR-PP termoplastik kompozit levhanın SEM görüntüleri.

10 bar 20 dakika (10B20DK) ve 30 bar 20 dakika (30B20DK) üretim koşullarında elde edilen numunelerin mikroyapısal analizleri, süre ve basınç parametrelerinin fiber-matris bağlanması ve homojenliği üzerindeki etkilerini net bir şekilde ortaya koymaktadır. 10 bar 20 dakika sürede üretilen numune, matrisin fiberler arasında homojen bir şekilde yayıldığı ve boşlukların neredeyse tamamen ortadan kalktığı bir mikroyapı sergilemiştir. Bu numune, lif-matris bağlanması oldukça güçlü olup konsolidasyon sürecinin etkili bir şekilde tamamlandığı gözlemlenmiştir. Mikroyapıdaki bu homojenlik ve ara yüzey bütünlüğü, numunenin mekanik dayanım açısından yüksek bir performans sergilemesini desteklemektedir. Buna karşılık, 30 bar 20 dakika sürede üretilen numune, yüksek basıncın lif-matris sisteminde olumsuz etkiler yarattığı tespit edilmiştir. SEM görüntülerinde, lifler arasındaki aşırı sıkışmanın ve matris deformasyonunun bağlanma kalitesini sınırladığı gözlemlenmiştir. Bu yüksek basınç koşulu, bazı bölgelerde fiber-matris homojenliğini bozmuş ve bağlanmanın zayıflamasına yol açmıştır. Boşluk miktarı azalmakla birlikte, fiberler arasındaki mikroyapısal bütünlük 10 bar altında üretilen numuneye kıyasla daha düşük kalmıştır.

4. Tartışma ve Yorum

Bu çalışmada, cam elyaf takviyeli polipropilen matrisli termoplastik kompozitlerin eğilme dayanımı üzerine, sıcaklık ve basınç gibi üretim parametrelerinin etkisi araştırılmıştır. Hafiflik ve yüksek mukavemet gerektiren sektörlerde GFR-PP'nin kullanım potansiyelini değerlendirmek amacıyla, malzeme üretiminde iki temel parametre incelenmiştir: pres basıncı 10, 20, 30 bar ve basınç altında kalma süresi 5, 10, 20 dakikadır. Eğme testleri için malzeme kalınlığı 4 mm olarak sabit tutulmuştur. Üç nokta eğme testleri, malzemenin eğilme dayanımı üzerindeki etkisini anlamak amacıyla gerçekleştirilmiştir. ASTM standartlarına uygun olarak hazırlanan test numuneleri ile elde edilen sonuçlar, üretim parametrelerinin eğilme dayanımı üzerindeki etkilerini ortaya koymayı hedeflemiştir. Düşük basınç ve uzun süre kombinasyonu, homojenlik ve mikroyapısal bütünlük açısından daha avantajlı bir üretim koşulu sunmaktadır. 10 bar 20 dakika koşulu, lif-matris bağlanmasının optimize edildiği ve konsolidasyonun

tamamlandığı ideal bir durumu temsil ederken, 30 bar 20 dakika koşulu, yüksek basıncın mikroyapı üzerinde deformasyona yol açabileceğini ve mekanik performansı sınırlayabileceğini göstermektedir.

Kaynaklar

- [1] O. Özdemir and H. Kandaş, "Cam lifi takviyeli polipropilen kompozitlerde kalınlığın ve sıcaklığın darbe davranışına etkileri," *Tekstil ve Mühendis*, vol. 25, no. 110, pp. 103-112, 2018.
- [2] J. P. Jose and K. Joseph, "Advances in polymer composites: macro-and microcomposites–state of the art, new challenges, and opportunities," *Polymer Composites*, pp. 1-16, 2012.
- [3] K. Gündoğan and A. R. B. Özşarı, "Basıncılı İnfiltasyon Yöntemiyle Üretilen AA2024 ve AA6061 Matrisli, B4C ve SiC Takviyeli Kompozit Malzemelerin Mikroyapı, Mekanik ve Isıl İletkenlik Özelliklerine Basıncın Etkisi," *International Journal of Engineering Research and Development*, vol. 11, no. 2, pp. 657-669, 2019.
- [4] S. Singh, M. Uddin, and C. Prakash, "Introduction, history, and origin of composite materials," in *Fabrication and Machining of Advanced Materials and Composites*, CRC Press, pp. 1-18, 2022.
- [5] A. Diniță et al., "Advancements in fiber-reinforced polymer composites: a comprehensive analysis," *Polymers*, vol. 16, no. 1, pp. 1-16, 2023.
- [6] R. Hsissou, R. Seghiri, Z. Benzekri, M. Hilali, M. Rafik, and A. Elharfi, "Polymer composite materials: A comprehensive review," *Composite Structures*, vol. 262, 113640, 2021.
- [7] P. Mitschang, M. Blinzler, and A. Wöginger, "Processing technologies for continuous fibre reinforced thermoplastics with novel polymer blends," *Composites Science and Technology*, vol. 63, no. 14, pp. 2099-2110, 2003.
- [8] R. Watanabe, H. Hagihara, and H. Sato, "Structure-property relationships of polypropylene-based nanocomposites obtained by dispersing mesoporous silica into hydroxyl-functionalized polypropylene. Part 1: toughness, stiffness and transparency," *Polymer Journal*, vol. 50, no. 11, pp. 1057-1065, 2018.
- [9] J. Karger-Kocsis and T. Bárány, *Polypropylene Handbook*. Switzerland: Springer Nature, 2019.
- [10] E. Karadeniz, "Poliamid/polipropilen (PA/PP) karışımlarının yapı ve özellikleri," M.S. thesis, Marmara Univ., Istanbul, Turkey, 2006.
- [11] S. Alwekar, R. Ogle, S. Kim, and U. Vaidya, "Manufacturing and characterization of continuous fiber-reinforced thermoplastic tape overmolded long fiber thermoplastic," *Composites Part B: Engineering*, vol. 207, 108597, 2021.
- [12] J. Bijwe, J. Indumathi, and A. K. Ghosh, "On the abrasive wear behaviour of fabric-reinforced polyetherimide composites," *Wear*, vol. 253, no. 7-8, pp. 768-777, 2002.
- [13] R. Yahaya, S. Sapuan, M. Jawaid, Z. Leman, and E. Zainudin, "Mechanical performance of woven kenaf-Kevlar hybrid composites," *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, vol. 33, no. 24, pp. 2242-2254, 2014.
- [14] W. Obande, C. M. Ó Brádaigh, and D. Ray, "Continuous fibre-reinforced thermoplastic acrylic-matrix composites prepared by liquid resin infusion – A review," *Composites Part B: Engineering*, vol. 215, 108771, 2021.
- [15] A. P. d. Costa, E. C. Botelho, M. L. Costa, N. E. Narita, and J. R. Tarpani, "A review of welding technologies for thermoplastic composites in aerospace applications," *Journal of Aerospace Technology and Management*, vol. 4, no. 3, pp. 255-265, 2012.
- [16] M. Valente, I. Rossitti, and M. Sambucci, "Different production processes for thermoplastic composite materials: sustainability versus mechanical properties and processes parameter," *Polymers*, vol. 15, no. 1, 242, 2023.
- [17] M. W. Todd, "Carbon Fiber Reinforced PPS Thermoplastic Materials Implemented in Cost Sensitive Commercial Applications," in *Proc. of the 38th Int. SAMPE Symp.*, Anaheim, CA, USA, 1993, pp. 2055–2065.
- [18] K. Van Rijswijk and H. Bersee, "Reactive processing of textile fiber-reinforced thermoplastic composites – An overview," *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, vol. 38, no. 3, pp. 666-681, 2007.

- [19] A. R. Offringa, "Thermoplastic composites—rapid processing applications," *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, vol. 27, no. 4, pp. 329-336, 1996.
- [20] Q. Chen, P. Boisse, C. H. Park, A. Saouab, and J. Bréard, "Intra/inter-ply shear behaviors of continuous fiber reinforced thermoplastic composites in thermoforming processes," *Composite Structures*, vol. 93, no. 7, pp. 1692-1703, 2011.
- [21] A. Wedgewood, P. Granowicz, and Z. Zhang, "Multi-scale modeling of an injection over-molded woven fabric composite beam," *CAE Design and Failure Analysis of Automotive Composites*, vol. 166, pp. 19, 2014.
- [22] M. Çakır and B. Berberoğlu, "E-Cam Elyaf Takviyeli Epoksi Matrisli Kompozit Malzemelerin Elyaf Oranındaki Artış ile Mekanik Özelliklerindeki Değişimlerin İncelenmesi," *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, vol. 5, no. 3, pp. 734-740, 2018.
- [23] T. P. Sathishkumar, S. Satheeshkumar, and J. Naveen, "Glass fiber-reinforced polymer composites—a review," *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, vol. 33, no. 13, pp. 1258-1275, 2014.
- [24] A. Kabiri et al., "Glass fiber/polypropylene composites with potential of bone fracture fixation plates: manufacturing process and mechanical characterization," *Journal of Composite Materials*, vol. 54, no. 30, pp. 4903-4919, 2020.

Changes in Traffic Density and Vehicle Usage Habits During and After the Pandemic in Balıkesir Province

Kenan Eryılmaz^a, Abdullah Elen^{b,1}

^a Bandırma Onyedi Eylül University, Türkiye
ORCID ID: 0009-0009-1399-7704

^b Bandırma Onyedi Eylül University, Türkiye
ORCID ID: 0000-0003-1644-0476

Abstract

The COVID-19 pandemic profoundly impacted social dynamics and individuals' lifestyles worldwide, leading to significant changes in traffic density and vehicle usage habits. This study analyzes the changes in urban traffic density and individual vehicle usage habits in Balıkesir province during the pandemic period (2021-2022) and the post-pandemic normalization period (2023-2024). Within the scope of the research, vehicle passage densities at 19 signalized intersections in the city center of Balıkesir were examined, and predictive models were created using machine learning methods such as linear regression and the Random Forest algorithm. The findings reveal that traffic flows in economically active areas, such as industrial zones, were less affected by the pandemic, whereas traffic density significantly decreased in commercial and social centers. Additionally, an increase in individual vehicle usage and a decline in public transportation preferences during the pandemic period were observed. The study also explores recovery trends in post-pandemic traffic flow and intersection-based differences in detail. This study underscores the importance of traffic data obtained during the pandemic for sustainable traffic management and transportation planning. At the end of the study, solutions such as the integration of intelligent traffic systems, the promotion of environmentally friendly transportation modes, and increasing the appeal of public transportation systems were proposed. These findings are expected to guide decision-makers in improving urban traffic dynamics and preparing for similar crises in the future.

Keywords: “Intelligent transportation systems, intersection analysis, signalization systems, traffic density, COVID-19.”

1. Introduction

COVID-19 was first identified in China on December 1, 2019, and rapidly spread to Europe, North America, and Asia-Pacific countries. [1]. The spread of COVID-19 altered individuals' perceptions and lifestyles, leading to the implementation of measures such as school closures, travel restrictions, and lockdowns to control the outbreak. Transportation restrictions played a critical role among these measures, as a positive correlation between travel and infectious diseases has been demonstrated. Shahin and Yetişkul [2] emphasized that individual protective measures are as important as administrative interventions and should continue during the normalization process.

In April 2021, a bulletin on motor vehicles released by the Turkish Statistical Institute (TÜİK) revealed a 155% increase in the number of vehicles registered compared to the same period in the previous year [3]. However, the preference of citizens to stay at home and restrictions reducing urban mobility played a significant role in maintaining balanced traffic density during the pandemic period. Measures such as lockdowns and remote work created constant fluctuations in traffic flow on urban roads. It is evident that these fluctuating traffic patterns observed during the pandemic are not directly applicable for road planning. Therefore, it is crucial to examine in detail the changes in traffic flow on main arteries caused by factors such as reduced demand for public transportation and increased use of private vehicles during restrictions. This detailed analysis is essential for transportation planning [4].

The pandemic and subsequent normalization period have had significant impacts on traffic density and vehicle usage habits in Balıkesir. This study aims to analyze how the increase in private vehicle usage, the decline in public transportation preferences, and changes in working patterns during the pandemic have reshaped urban transportation dynamics. By analyzing vehicle passage data, the research highlights trends in traffic density changes at different intersections in Balıkesir. The study evaluates traffic data using a linear regression model and conducts intersection-based comparisons between the pandemic period

¹ Corresponding Author
E-mail Address: aelen@bandirma.edu.tr

and the normalization process. Dynamics such as increased traffic density in industrial zones are explored, and the environmental impacts of individual vehicle usage are emphasized. Based on field observations and data from traffic monitoring systems, this research aims to provide recommendations for sustainable traffic management solutions. Reducing increased vehicle density in the post-pandemic period and minimizing environmental impacts are central focuses of the study. Furthermore, it examines the reflections of findings from the literature in a local context, aiming to offer suggestions for future transportation policies.

2. Literature Review

The pandemic period caused profound changes in traffic density and flow on a global scale. Observations conducted on Antalya's main arteries revealed a significant decrease in traffic density during restriction days [4]. Similarly, in China's Zhejiang province, traffic volume decreased by 95.5% during the pandemic, and gradually began to recover as restrictions were eased [5]. In Portugal, highway traffic dropped by 80% during the pandemic, with this decrease being more pronounced for light vehicles, while heavy commercial vehicle traffic was less affected due to logistical requirements [6]. Across Turkey, daily travel behavior and traffic density underwent significant changes; individuals postponed non-essential trips and preferred private vehicle use over public transportation [7]. The relatively limited impact of the pandemic on commercial transportation played a critical role in ensuring the continuity of logistics operations. While the presence of commercial vehicles in traffic remained consistent throughout the pandemic, fluctuations in individual vehicle traffic highlighted the vulnerability of urban transportation systems. Studies emphasize that in the post-pandemic period, greater priority should be given to smart traffic management solutions and policies that promote environmental sustainability.[6, 29]

The increase in private vehicle usage during the pandemic led to a substantial decline in public transportation usage. For instance, in Japan's Hokkaido region, traffic volume decreased by 65% [8], while on India's Nagpur-Jabalpur highway, traffic density reached its lowest levels in April 2020 and began to gradually increase by June 2020 [9]. In major Turkish cities like Istanbul and Ankara, the decrease in public transportation usage led to an increase in private vehicle traffic, highlighting the need for urban traffic reorganization [1, 10]. This trend was not limited to Turkey; similar patterns were observed in other regions such as California and China [11, 12]. During the pandemic, traffic congestion, particularly on major transportation arteries such as the İpekyolu, increased significantly, leading to bottlenecks in urban centers. High-density areas, including industrial zones, university campuses, and shopping centers, emerged as primary contributors to traffic congestion. It is emphasized that new intersection management systems should be implemented to optimize traffic flow in these regions[30].

In the post-pandemic period, it has become evident that cities require new approaches to traffic management. The integration of shared transportation and micromobility options emerges as an effective strategy to encourage public transportation use and reduce dependency on private vehicles [13]. Additionally, green wave systems and adaptive traffic control applications play a crucial role in reducing carbon emissions and supporting environmental sustainability [14]. The dynamic management of signalized intersections has also become more critical due to the increase in private vehicle use. For example, in Istanbul and Ankara, the decrease in public transportation usage during the pandemic reduced congestion at signalized intersections, but the rise in private vehicle traffic made this trend less sustainable [1, 10].

Smart traffic management technologies hold critical importance in improving traffic flow and supporting environmental sustainability in the post-pandemic period. Analyses conducted in cities like Van, Konya, and Samsun have shown that properly adjusted signal timings can reduce accident rates and minimize waiting times [15, 16]. Moreover, while some intersections required less signalization during the pandemic due to low traffic volumes, the normalization process has led to a resurgence in these requirements [17, 18]. The importance of dynamic signaling systems in smart traffic management has become particularly evident during crisis periods such as the pandemic. For instance, it has been noted that vehicle speeds increased during restrictions when traffic congestion decreased, leading to a rise in the severity of accidents. Smart signaling systems are highlighted as playing a critical role in adapting to such changes in traffic speeds and preventing accidents [11].

In conclusion, the pandemic deeply influenced traffic dynamics and transportation preferences. The decline in public transportation usage increased private vehicle ownership, necessitating the reorganization of urban traffic systems. Solutions such as green wave applications and adaptive traffic control systems offer effective strategies to improve traffic flow and support environmental sustainability in the post-pandemic period [14]. In the future, prioritizing smart traffic management technologies and sustainable transportation policies will enable cities to address traffic issues more efficiently and environmentally friendly.

3. Balıkesir Province

Balıkesir is one of Turkey's prominent agricultural, commercial, and industrial cities, experiencing a growing population due to migration. According to the 2023 results of the Address-Based Population Registration System (ABPRS), the population of Balıkesir province has reached 1,273,519, constituting 1.49% of the country's total population. Among its districts, Karesi has the highest population with 188,846 residents, while Marmara is the least populated district with 11,454 residents. Turkey's total

population stands at 85,372,377, with a population density of 111 people per square kilometer. Covering an area of 14,272 square kilometers, Balıkesir has a population density of 89 people per square kilometer, which is below the national average [19].

While Balıkesir's population has shown a steady increase over the years, the population growth rate was below the national average in 2015, 2016, and 2017. However, in 2014, 2018, 2019, and 2020, the growth rate exceeded the national average. Although the population growth rate was below the national average in 2021 and 2022, it surpassed the national average in 2023. As depicted in Figure 1, the details of Balıkesir Province are clearly illustrated.

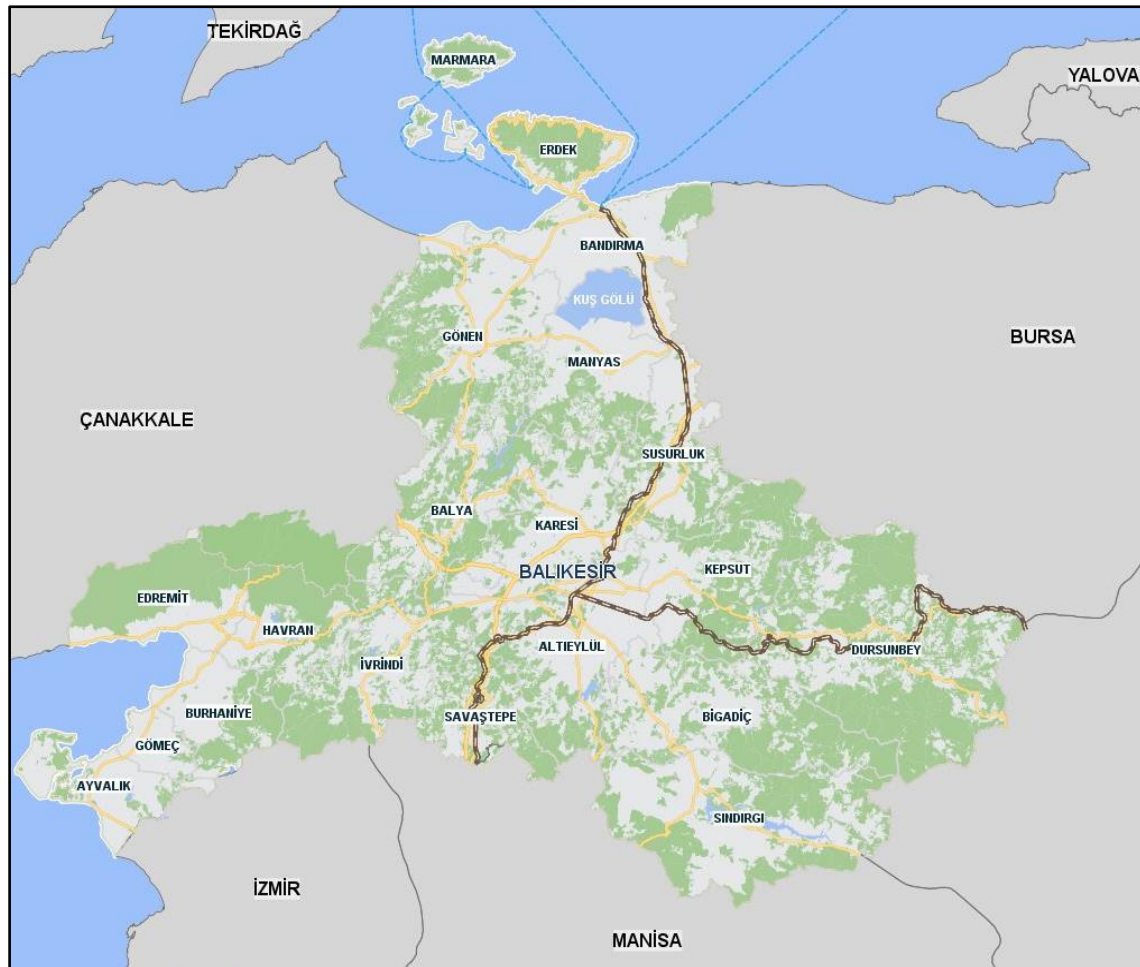


Fig. 1. Balıkesir Province [20].

This rapid population growth has significantly increased the demand for urban transportation. Urban mobility in Balıkesir is primarily supported by private vehicles and public transportation. The city's main roads witness heavy traffic from private and public transportation vehicles, and in industrial zones, the prevalence of heavy vehicle traffic is notable. This situation significantly impacts traffic flow, especially around organized industrial zones [19]. According to Table 1, the population growth rates by year are thoroughly detailed.

Table 1. Population Growth Rates by Year [19].

Year	Population	Population Growth Rate (%)	
		Balıkesir	Turkey
2014	1 189 057	22.6	13.2
2015	1 186 688	-2.0	13.4
2016	1 196 176	8.0	13.5
2017	1 204 824	7.2	12.4
2018	1 226 575	18.1	14.7
2019	1 228 620	17.0	13.9
2020	1 240 285	9.5	5.5
2021	1 250 610	8.3	12.7
2022	1 257 590	5.6	7.1
2023	1 273 519	12.7	1.1

The urban transportation network in Balıkesir predominantly consists of at-grade intersections. However, grade-separated intersections have been constructed along the city's bypass to alleviate transit traffic and reduce delays. As of 2020, Balıkesir had a car ownership rate of 152 vehicles per 1,000 people, placing it among the top 10 cities in Turkey in this category [21]. As outlined in Table 2, the summary of key statistics for Balıkesir in 2023 is comprehensive.

Table 2. Summary of Key Statistics for Balıkesir in 2023 [19].

Indicator Name	Turkey	Balıkesir
Total Length of Road Network (km):	68.654	1.338,7
Total Number of Automobiles	29.987.701	613.784
Number of Traffic Accidents	1.314.136	18.307
Number of Fatalities in Accidents	6.504	136
Provincial and State Roads	64.297,5	1.235,5

In Balıkesir, 47% of the population travels on foot for short distances (0-3 km). For distances exceeding 3 km, private vehicles and public transportation dominate as the primary modes of travel. Medium-distance trips (5-10 km) are predominantly made by public transportation, accounting for 63% of such journeys [22]. The intersections serving the city are mostly signalized, though modern roundabouts have been introduced in newly developed areas [23].

4. Intersections and Their Functions

Intersections are the points where two or more roads meet, making them one of the most critical areas for traffic flow. These zones play a strategic role in traffic management due to their high traffic density and vehicle-pedestrian interactions [18]. Considering the movement of traffic in different directions on highways, it can be said that the likelihood of traffic accidents occurring at intersections is relatively high. Therefore, designing intersections correctly and in accordance with relevant standards is of great importance for minimizing material and emotional damages. During the intersection design process, factors such as safety, user comfort, and capacity must be taken into account. In summary, intersections should be planned to adapt optimally to environmental conditions, minimize accident risks, vehicle delays, and maintenance costs, while providing maximum capacity. As shown in Figure 2, the images of selected intersections in Balıkesir Province provide clear visual insights.

4.1. Types of Intersections

Intersections can be classified into various types based on their characteristics. When considering the features of the intersecting road approaches, intersections can be grouped into two main categories. These categories are designed in various shapes and structures to regulate traffic flow and ensure safety. Generally, intersections are divided into the following types:

4.1.1. At-Grade Intersections

At-grade intersections are where roads intersect at the same level, and traffic flows interact directly. In such intersections, vehicles, pedestrians, and cyclists move on the same level, requiring the application of various traffic control methods. At-grade intersections can be further divided into the following subtypes:

- **Simple Intersections:** Basic intersections where two roads meet, typically involving four-way traffic controlled by traffic lights or stop signs.
- **T-Intersections:** Three-way intersections where one road merges with another. These are controlled by traffic lights, priority signs, or stop signs.
- **Roundabouts:** Intersections where traffic flows in a circular pattern, with vehicles entering the roundabout in a prescribed order. These facilitate smoother traffic flow and reduce accident risks.
- **Box Junctions:** Marked areas within an intersection that only allow movement according to the signals. These are used where vehicles must stop before proceeding through the intersection.
- **Zebra Crossings:** Designated areas at intersections for safe pedestrian crossings. These are often supported by traffic lights and are also referred to as pedestrian crossings.

At-grade intersections are commonly used in areas with low traffic density, while areas with higher traffic volumes may require more complex management systems.



(a) Hastane Roundabout



(b) Zeytinli Roundabout



(c) Çayırhisar Multi-Level Intersection Design



(d) Rüzgar Av. Roundabout

Fig. 2. Images of Selected Intersections in Balıkesir Province

4.1.2. Grade-Separated Intersections

Grade-separated intersections are designed where roads intersect at different levels, allowing traffic to flow without interruption. These intersections facilitate continuous and safe traffic flow by using overpasses or underpasses. They can be categorized into the following subtypes:

- Overpasses: Structures that allow one road to pass over another without intersection.
- Underpasses: Tunnel-like structures enabling one road to pass beneath another, similar in function to overpasses.
- Multi-Level Intersections: Complex intersections combining overpasses and underpasses, often used in urban areas with heavy traffic.
- Roundabout Combinations: Some grade-separated intersections incorporate roundabouts to manage more complex traffic patterns, particularly in large, high-traffic areas.

Grade-separated intersections are preferred in high-density traffic areas to reduce congestion and minimize accident risks. However, their application may be limited due to high construction costs and space requirements.

The selection and design of intersection types depend on factors such as traffic density, road structure, environmental conditions, and safety requirements. While at-grade intersections are commonly used in low-traffic areas, grade-separated intersections are suitable for regions with high traffic volumes. Well-designed intersections optimize traffic flow while enhancing the safety of both vehicles and pedestrians.

4.1.3. Intersection Signalization

Signalized intersections manage traffic flows using traffic lights. Vehicles approaching the intersection stop or proceed depending on the signal colors. These intersections are typically preferred in high-traffic areas as they regulate flow, increase capacity, and ensure safety. Signalized intersections can be implemented as fixed-time or traffic-adaptive systems. Traffic signals create intermittent traffic flow by periodically interrupting the movement of vehicles. Signal timing, which allows specific movements at designated intervals, directly affects the capacity of the intersection. Consequently, traffic flow is shaped by the type of signalization used [24]. Optimizing traffic flow is critical not only for vehicles but also for pedestrian safety.

Signalized intersections enhance traffic safety and ensure the orderly flow of traffic by minimizing conflicts between vehicles and pedestrians [25]. Modern intersection signalization systems go beyond basic traffic regulation to reduce delays and optimize traffic flow in high-traffic scenarios. Today, these systems utilize advanced algorithms and sensor-based technologies, setting a new standard in traffic management [26].

Compared to traditional signalization systems, smart traffic systems are far more complex and adaptive. These systems analyze vehicle speed, density, and traffic flow in real time, automatically adjusting signal timings. Effective traffic signal control should provide real-time control with an adaptive characteristic, responding to traffic demands with optimal timing plans. However, the non-linear nature of traffic control systems has rendered traditional methods less effective. On the other hand, with the rapid development of computer technologies, artificial intelligence techniques have successfully solved non-linear problems. Techniques such as fuzzy logic, artificial neural networks (ANNs), evolutionary algorithms, and reinforcement learning can produce effective solutions for traffic signal control problems [27].

In recent years, the concept of smart traffic intersections has garnered significant attention among governments, transportation agencies, technology providers, and the general public. This growing interest stems from recognizing the inadequacy of traditional traffic management approaches to address complex issues arising from rapid urban transformation, increased vehicle ownership, and changing mobility patterns. By integrating advanced technologies such as Artificial Intelligence (AI), the Internet of Things (IoT), and Vehicle-to-Everything (V2X) communication, smart traffic intersections provide an effective way to enhance the efficiency and sustainability of urban transportation networks. Additionally, they contribute significantly to managing and integrating various transportation options, including shared mobility services, autonomous vehicles, and public transportation [28].

5. Material and Method

This study analyzes the changes in traffic density and vehicle usage habits in Balıkesir province during the pandemic period (2021-2022) and the post-pandemic normalization period (2023-2024). The research is supported by traffic density measurements conducted at 19 different intersections and linear regression analyses based on these data. Additionally, machine learning methods such as the Random Forest algorithm were employed to evaluate past traffic data and predict traffic trends. The methods used in this study aim to provide a detailed understanding of the fluctuations caused by the pandemic and the transition to regular traffic flow in the post-pandemic period. The study seeks to identify intersection-based differences and provide valuable insights for future traffic management and sustainable transportation policies.

Table 3 contains the geographical location data of the 19 different intersections included in the study within the boundaries of Balıkesir province. The table presents the names, latitudes, and longitudes of each intersection, illustrating the regions analyzed. These data serve as a fundamental source of information for intersection-based traffic density analyses and modeling studies.

5.1. Methods

As part of this study, Balıkesir province was selected as the pilot region due to its population of 1,273,519 by the end of 2023, making it the 17th most populous city in Turkey, and its 572,446 registered vehicles as of August 2023 (TÜİK, 2023). The methods used to analyze traffic density and vehicle usage habits in Balıkesir are based on two primary approaches. The first approach involves fixed-time analyses that compare traffic density and passage data with historical data. The second approach utilizes adaptive analyses to understand fluctuations in traffic flow. These analyses provide a detailed examination of traffic data during and after the pandemic.

In the study, linear regression models were employed to determine intersection-based vehicle passage densities. The regression analyses revealed changes in traffic density by identifying vehicle passage trends at each intersection. These analyses were critical in understanding the decrease in vehicle traffic during the pandemic restrictions and the increase in individual vehicle usage in the post-pandemic period. Additionally, machine learning methods, such as the Random Forest algorithm, were utilized to analyze abrupt changes in traffic flow during the pandemic and the subsequent increases in traffic more effectively. This algorithm provided a robust tool for predicting traffic trends based on historical data and identifying varying traffic dynamics between intersections. The modeling process analyzed intersection-based traffic data to assess the pandemic's impact

on traffic density from a broader perspective. This method was used to gain deeper insights into changing transportation habits during the post-pandemic normalization process. The detailed analyses of intersections were developed by drawing on similar studies and a review of the literature. Traffic flow and vehicle density data were categorized into central, industrial, and mixed regions, allowing for more in-depth analyses.

In this study, vehicle passage data derived from traffic density measurements were analyzed using linear regression and machine learning models. These methods not only clarified vehicle passage trends but also facilitated the development of alternative scenarios based on changes in traffic density. Consequently, these methods provided a clear evaluation of the decreases during the pandemic and the increases in the post-pandemic period, offering valuable insights for future traffic management policies.

Table 3. Intersection Coordinates.

#	Intersections	Latitude	Longitude
1	Sanayi 2. Kapı	39.666944	27.918056
2	Sanayi 1. Kapı	39.661389	27.911111
3	Çengel Dereboyu Av.	39.666944	27.904722
4	Karizma	39.662500	27.897778
5	Okul Av.	39.666389	27.889167
6	Eski Vali konağı	39.654167	27.899722
7	TTM Gazi Bulvarı ext.	39.648333	27.890000
8	İstasyon	39.647222	27.887778
9	Hükümet	39.644167	27.883889
10	Çardaklı	39.640833	27.880556
11	Eski SSK altı Yeni İzmir y.k	39.629444	27.881389
12	Eski Çayırhisar	39.612778	27.895556
13	TTM Gazi Bulvarı ext.	39.648056	27.886944
14	Kurtdereli T.M. Lisesi	39.649444	27.885278
15	Eski Cami	39.651111	27.883056
16	Yonca	39.651111	27.880556
17	Başçeşme	39.652500	27.874167
18	Azerbaycan Av.	39.644444	27.905833
19	Ağır Bakım	39.651111	27.907222

6. Experimental Results

This section presents the results of traffic density analyses conducted at 19 selected intersections in Balıkesir between 2021 and 2024. The study evaluated changes in traffic flow during the pandemic and post-pandemic periods using regression analysis, detailing fluctuations and upward trends in vehicle passage volumes. Additionally, the performance of the Random Forest algorithm in predicting intersection-based traffic trends was analyzed, supported by R^2 values to demonstrate the model's accuracy. The primary objective of the study is to reveal traffic density dynamics and intersection-based differences, enabling these findings to contribute to future traffic management strategies.

6.1. Linear Regression Analysis

6.1.1. Pandemic Period

Figure 3 illustrates vehicle passage trends and regression analyses for 19 different intersections in Balıkesir during the pandemic period, covering the years 2021-2022. Blue dots represent actual vehicle passage data, while red lines indicate regression curves fitted to these data points.

To provide a detailed interpretation of the graph, the following observations can be made:

- At most intersections, vehicle passage volumes showed fluctuating patterns, particularly from mid-2021 onward. However, there was an overall trend toward recovery to pre-pandemic levels. By mid-2022, some intersections exhibited increasing traffic volumes, while others displayed stable or declining trends.
- The red regression curves generally align well with the blue data points, indicating a good fit. However, some intersections, such as the TTM Gazi Boulevard Exit, reflect seasonal or periodic fluctuations that are not fully captured by the regression curves. For intersections with more consistent increases or decreases in traffic trends, the regression lines more accurately reflect the data.

- At the Sanayi 1 Gate and Sanayi 2 Gate intersections, there was a general increase in vehicle passages from 2021 to 2022, highlighting the resilience of industrial zones to pandemic-related disruptions.
- Intersections like Çengel Dereboyu Street and Eski Çayırhisar showed minor fluctuations but generally maintained stable traffic volumes until mid-2022.
- In intersections near educational institutions, such as Okul Street and Kurtdereli T.M. High School, a recovery in traffic volumes was notable, particularly from late 2021 onward, reflecting the impact of school reopenings on traffic patterns.
- In contrast, a significant decline in traffic was observed at İstasyon Intersection as 2022 approached, potentially due to a shift in station-related traffic to alternative routes or a decrease in demand in the area.
- At intersections like Pancar, Yonca, and Azerbaijan Street, traffic volumes remained relatively stable, with minor fluctuations. These areas, influenced by rural activities, retained consistent traffic levels even during the pandemic, suggesting that rural traffic demand was less affected.

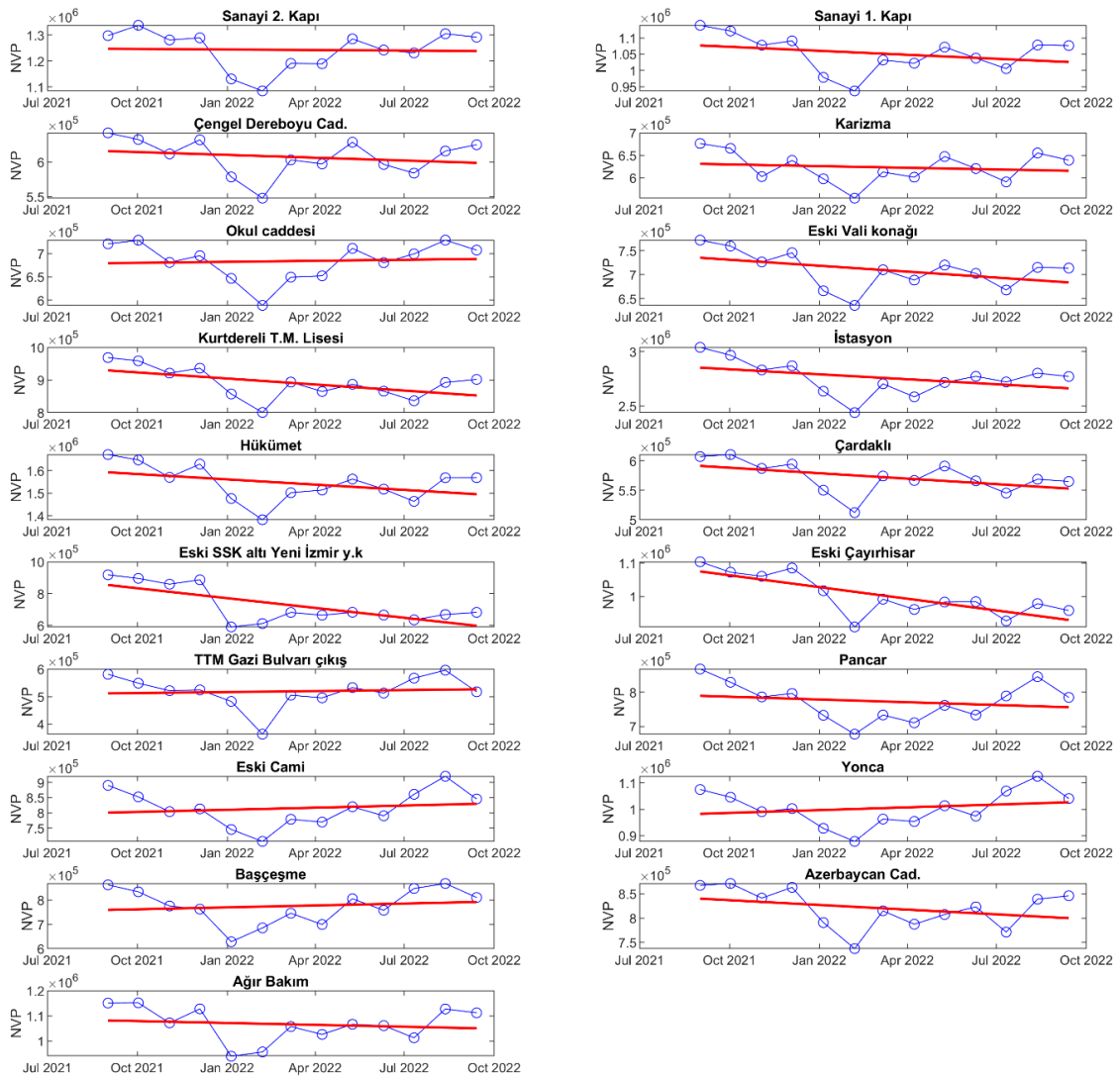


Fig. 3. Vehicle Passage Trends and Regression Analysis for the 2021-2022 Period.

Overall, vehicle passages decreased during periods of lockdowns in 2021 but began to recover in 2022 as social and economic activities increased.

In industrial and commercial zones, particularly at industrial gates and logistical connection points, there was a general trend of increasing traffic volumes, indicating economic recovery and the continuity of logistical movements. Similarly, in educational zones, traffic recovery was driven by the reopening of schools and the return to in-person education. In city centers and

residential areas, intersections like Eski Vali Konağı and Çardaklı showed fluctuating traffic volumes, reflecting the lingering effects of mobility restrictions. Fluctuations in traffic at some intersections highlight the need for traffic management and signalization systems to adapt to pandemic conditions.

Recommendations:

- Signal timing at intersections with increasing traffic should be reevaluated to reduce waiting times and improve traffic flow, particularly in industrial areas.
- Data-driven planning, utilizing insights from regression analyses, could serve as a crucial decision-making tool for future traffic management.
- In urban areas, enhancing the appeal of public transportation and promoting sustainable mobility are vital steps to reduce vehicle density. These measures would contribute significantly to intersection-based traffic management policies and preparations for potential future crises.

The data presented in the graph provide a valuable resource for understanding intersection-based traffic changes in Balıkesir during the post-pandemic period. Different strategies should be developed depending on the type of intersections and the dynamics of the regions where they are located.

6.1.2. Post-Pandemic Period

As illustrated in Figure 4, vehicle passage trends and regression analyses for 19 intersections in Balıkesir during 2023-2024. Red lines represent regression curves, while blue dots indicate actual vehicle passage data. This analysis is crucial for evaluating changes in traffic flow and the impacts of normalization during the post-pandemic period.

Most intersections exhibited an upward trend in traffic volumes, indicating that social and economic activities had started to return to pre-pandemic levels. Notably, intersections focused on trade and logistics, such as the Sanayi 1 Gate and Sanayi 2 Gate, experienced a significant increase in traffic.

Regression curves (red lines) generally showed good alignment with the blue data points, although seasonal effects and short-term fluctuations affected the fit at some intersections. For instance, intersections like Karizma and Pancar displayed such irregularities. In other cases, regression curves represented clear upward or downward trends, while actual data showed more variability.

Intersection-Based Observations:

- **Industrial and Logistical Zones:** Continuous increases in vehicle passages were observed at intersections like Sanayi 1 Gate and Sanayi 2 Gate, reflecting intensified industrial and logistical activities. Regression curves aligned closely with actual data at these intersections. Similar trends were noted at Ağır Bakım Intersection, supporting the mobility of industrial zones.
- **Urban Areas:** Significant fluctuations in traffic volumes were observed at intersections such as Çengel Dereboyu Street and Karizma from early 2023 onward, reflecting variability in traffic demand in densely populated areas. At Eski Vali Konağı Intersection, traffic exhibited a fluctuating pattern but maintained an overall horizontal trend.
- **Educational Zones:** Intersections near educational institutions, such as Okul Street and Kurtdereli T.M. High School, showed increasing traffic volumes, particularly from the fall of 2023, correlating with the start of the academic year.
- **Other Areas:** Partial recovery was observed in traffic volumes at intersections like İstasyon and Çardaklı. Fluctuations in these areas indicate short-term changes in traffic flow. Traffic volumes at rural intersections, such as Yonca and Pancar, remained relatively low and stable even in the post-pandemic period, suggesting that rural traffic demand was less impacted.

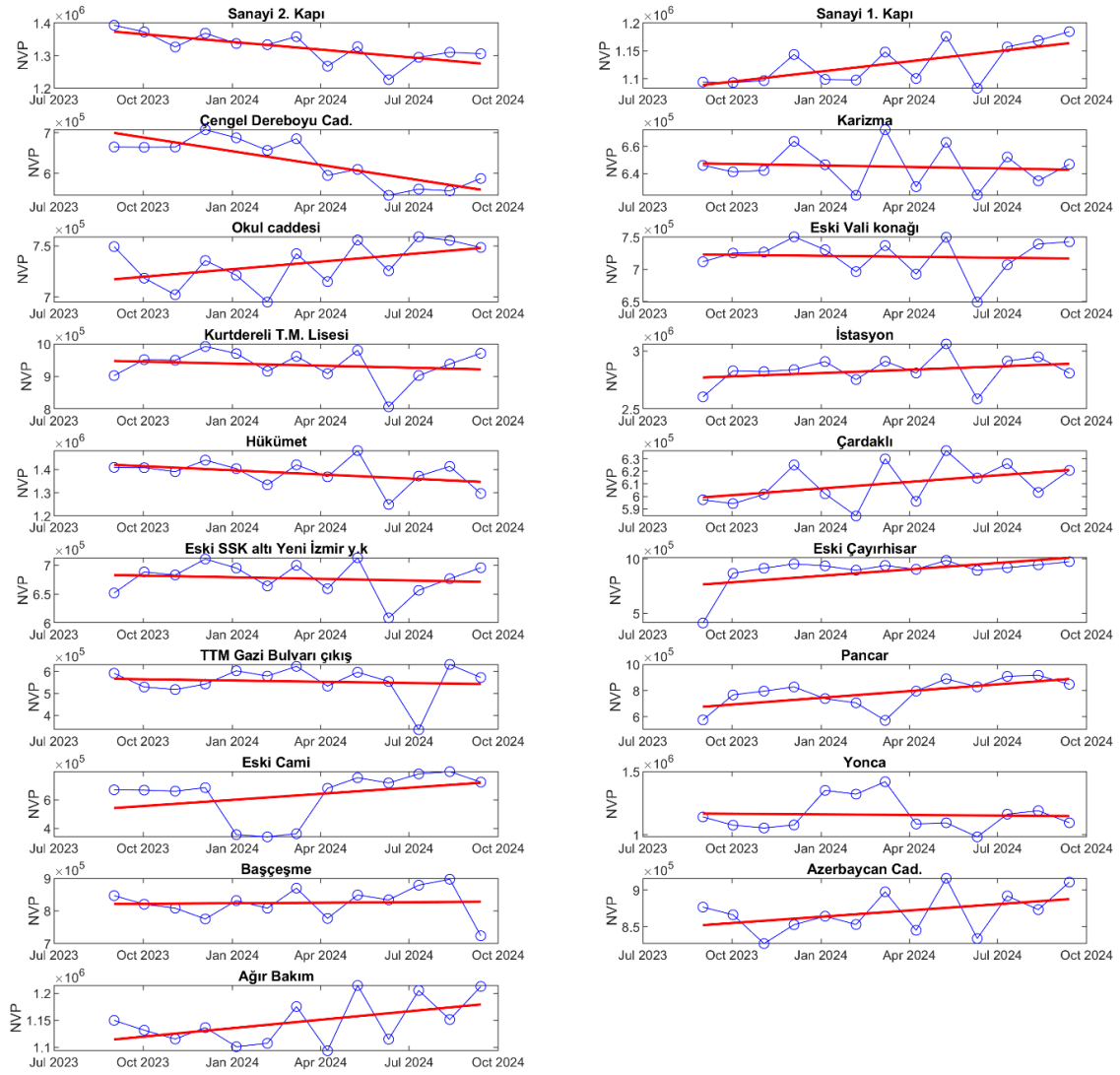


Fig. 4. Vehicle Passage Trends and Regression Analysis for the 2023-2024 Period.

6.1.3. Comparison of the Pandemic and Post-Pandemic Periods

During the pandemic (2021-2022), traffic volumes were generally lower, with fluctuations driven by lockdowns and seasonal effects. Although there was an increase in individual vehicle usage, overall traffic demand remained limited due to restrictions. In contrast, the post-pandemic period (2023-2024) saw a significant increase in vehicle passages as restrictions were lifted, and economic and social activities recovered.

- **Industrial and Commercial Zones:** Traffic volumes in these areas showed a gradual recovery during the pandemic but accelerated significantly during the post-pandemic period, particularly at industrial gates and logistical hubs.
- **Educational Zones:** Increased traffic volumes were observed near educational institutions during the post-pandemic period due to the full resumption of in-person education.
- **City Centers and Residential Areas:** Fluctuations persisted in central intersections like Eski Vali Konağı during both periods, reflecting ongoing adjustments in mobility.

Intersection-Based Variations:

In industrial-focused intersections, such as Sanayi 1 Gate, Sanayi 2 Gate, and Ağır Bakım, traffic volumes during 2021-2022 were relatively low and fluctuating. While logistical activities were less affected by pandemic restrictions, an overall decline was observed. However, during 2023-2024, a significant increase in vehicle passages was noted at these intersections, primarily driven by the acceleration of industrial activities in the post-pandemic period. Regression curves also reflected a consistent upward trend.

In educational and public zones, such as Okul Street and Kurtdereli T.M. High School intersections, traffic volumes were low during 2021-2022, especially when schools were closed or operating under restricted capacity. By 2023-2024, traffic volumes increased as educational institutions returned to full capacity. This indicates the positive impact of resuming in-person education on traffic density.

In city center intersections, such as Çengel Dereboyu Street, Karizma, and Eski Vali Konağı, traffic volumes exhibited fluctuations during 2021-2022, reflecting the effects of reduced human mobility during the pandemic. In 2023-2024, traffic volumes at these intersections recovered, although occasional fluctuations persisted. This suggests that traffic density in city centers has not fully returned to pre-pandemic levels.

In transit and rural areas, such as Pancar, Yonca, and Azerbaijan Street intersections, traffic volumes remained stable or showed minor fluctuations during 2021-2022. Mobility in these areas is largely influenced by rural activities. During 2023-2024, a general increase in traffic volume was observed in these intersections; however, the rate of increase was more limited compared to city centers and industrial zones.

Differences in Traffic Dynamics:

During 2021-2022, the pandemic period, traffic flows at many intersections experienced significant fluctuations due to restrictions and seasonal effects. This period was marked by sudden changes and unpredictable variations in traffic volumes, adversely affecting intersection stability. However, during 2023-2024, traffic flow exhibited a more stable pattern overall. Regular increases in traffic were particularly noticeable at industrial gates and intersections near city centers, reflecting economic recovery and increased demand for traffic in urban areas.

When analyzing the alignment of regression curves, it was evident that the high fluctuations in 2021-2022 made it difficult for regression lines to fully match the actual data points. These fluctuations negatively impacted the accuracy of predictive models, making it challenging to capture real traffic data at some intersections. However, during 2023-2024, the recovery process brought greater regularity to traffic flow, improving the alignment between regression curves and actual data. This improvement allowed traffic management strategies and models to better adapt to the post-pandemic period, enhancing prediction accuracy. Overall, the reduction in traffic fluctuations and improved alignment of regression curves highlight the positive impact of the post-pandemic normalization process on traffic management.

Effects of Economic and Social Activities:

During 2021-2022, economic restrictions limited traffic volumes while accelerating the shift from public transportation to individual vehicle use. This led to reduced traffic density in city centers while increasing individual vehicle use. In 2023-2024, increased economic activity and a return to public transportation contributed to a renewed rise in city center traffic density. However, the rise in individual vehicle use added an additional burden to traffic volumes, particularly in industrial zones.

To effectively manage the increased traffic observed at industrial gates during 2023-2024, signalization systems and solutions to optimize logistical traffic should be implemented. Policies to encourage greater use of public transportation are recommended to manage traffic density in city centers. Traffic flow in educational zones could be regulated with traffic planning tailored to school hours. In rural intersections, traffic volume increases have remained relatively limited; however, future changes in rural activities and their impact on traffic should be monitored.

Considering the upward trend brought by the recovery process during 2023-2024, adaptive traffic management and environmentally sustainable solutions should be swiftly implemented. In conclusion, traffic volumes and consistency have increased in the post-pandemic period. However, this increase underscores the need for more effective traffic management strategies, particularly in city centers and industrial zones.

6.2. Monthly Vehicle Passage Prediction Using the Random Forest Algorithm

This section examines the performance and results of the Random Forest algorithm used to predict monthly vehicle passage volumes at 19 selected intersections. The model was applied to capture fluctuations during the pandemic period and the regularity of traffic flow during the post-pandemic normalization process. By analyzing the impact of multiple variables in the dataset, the Random Forest algorithm was employed as a robust tool for predicting seasonal and periodic traffic trends. Within the study, the model's R^2 values and prediction errors were assessed, and accuracy rates across different intersections were compared. This analysis was conducted to measure the model's performance under fluctuating traffic conditions and to support data-driven decision-making processes in traffic management.

Various performance metrics were analyzed to evaluate the prediction accuracy of the Random Forest algorithm used in this study. These metrics provide a detailed framework to assess the differences between the predicted and actual values by measuring the model's success from multiple perspectives.

Mean squared error (MSE) evaluates the overall accuracy of the predictions by measuring the magnitude of errors, while root mean squared error (RMSE) reduces the dependency on scale and enhances interpretability. Mean absolute error (MAE) measures the level of error by calculating the absolute difference between predicted and actual values. The R^2 metric indicates the proportion of variance explained by the model, evaluating the alignment between the predicted and actual data. Together, these metrics offer a comprehensive framework to understand the model's overall performance and accuracy under varying conditions.

6.2.1. Pandemic Period

Figure 5 depict vehicle passage trends and Random Forest model predictions at 19 intersections in Balıkesir during the pandemic period. The model's performance was evaluated by comparing its predictions with actual vehicle passage data. Hükümet Intersection (Intersection 9) emerged as the central hub of traffic density during the pandemic, and the model's predictions for this intersection were highly accurate. At other intersections, traffic density remained low, though minor fluctuations, including increases and decreases in some months, were observed. Overall, the model produced predictions that closely matched the actual data.

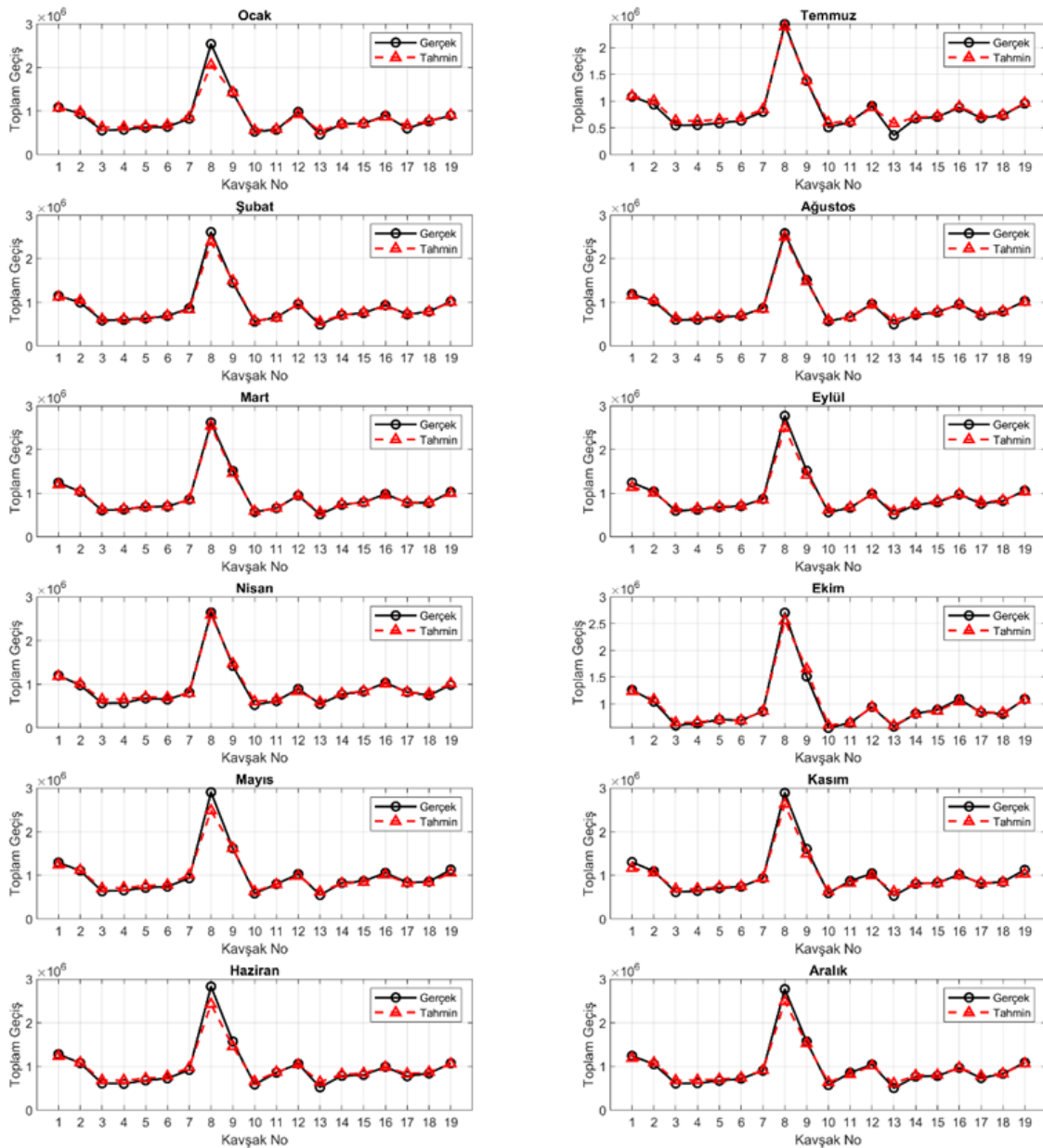


Fig. 5. Estimation of Monthly Vehicle Passage Numbers by Intersections During the Pandemic Period.

At most intersections, vehicle passage volumes exhibited fluctuations, particularly from mid-2021 onward. However, a general trend of recovery toward pre-pandemic levels was noted. While seasonal effects and social dynamics limited prediction accuracy at certain intersections, general trends were consistently captured. The Random Forest model demonstrated a high level

of alignment with actual data. However, error rates increased during months with pronounced fluctuations, indicating the challenges posed by the unpredictable changes during the pandemic on the model's accuracy. Table 4 presents the performance metrics for the Random Forest model.

Table 4. Performance Metrics During the Pandemic Period.

#	MONTH	MSE	RMSE	MAE	R ²
1	January	13846884984	117672,7878	57009,97095	0,933721399
2	February	3420441889	58484,54402	31955,51195	0,984098257
3	March	877270981,3	29618,76063	21160,09485	0,995937737
4	April	2097908265	45802,92856	39084,04313	0,99043202
5	May	11390027752	106724,073	59825,85914	0,957094292
6	June	11783647130	108552,5086	66320,89172	0,953683755
7	July	4759431864	68988,63576	48428,56149	0,975415166
8	August	1426954835	37775,05572	30055,49685	0,993311972
9	September	6017905467	77575,16012	47881,01965	0,975507417
10	October	2724566737	52197,38248	32321,92544	0,988083369
11	November	6957178503	83409,70269	56311,06724	0,973624762
12	December	6323134919	79518,14208	51637,4936	0,974173599

In this experiment, the monthly prediction performance of the Random Forest model for vehicle passages was evaluated. Although the model generally exhibited high accuracy ($R^2 > 0.95$), its predictive accuracy peaked in March and August. Conversely, the model's performance declined in January, May, and June. Variations in error rates were attributed to seasonal effects and fluctuations in traffic density. Overall, the model successfully captured vehicle passage trends and provided a reliable data source for traffic management.

The Random Forest model demonstrated strong performance during the pandemic period. March and August were the most successful months for the model. In March, the model achieved the highest accuracy with an R^2 value of 0.9959, while MAE (21,160) and RMSE (29,618) values were notably low. These results indicate that the model was able to produce predictions very close to the actual data. Similarly, in August, the model achieved a high accuracy rate with an R^2 value of 0.9933 and exhibited low error rates compared to other months. However, January (R^2 : 0.9337), June (R^2 : 0.9537), and May (R^2 : 0.9571) were months where the model's performance was relatively weaker. Particularly in January, high error values such as RMSE (117,672) and MAE (57,009) indicated larger deviations in the model's predictions. Overall, the Random Forest algorithm demonstrated successful predictive performance, with R^2 values exceeding 0.95 in most cases, proving to be an effective tool for understanding vehicle passage trends.

Hükümet Intersection became the focal point of traffic density during the pandemic. Vehicle passages at this intersection were accurately predicted by the Random Forest model. The 1st and 2nd Industrial Gate Intersections showed stable traffic flow, even during the pandemic, due to the continuation of economic activities. Predictions for these regions generally aligned closely with the actual data. Although İstasyon and Çardaklı Intersections exhibited lower vehicle passage volumes, the model successfully captured general trends in these areas. Traffic density showed significant fluctuations in January and February, leading to increased prediction errors. In February, predictions were more stable. The model's predictive performance peaked in March, as regular vehicle passage trends allowed it to produce more accurate results. In April, error rates slightly increased. In May and June, the model's performance declined, and prediction errors rose. Sudden fluctuations in traffic during this period challenged the model's adaptability. During the summer months, as traffic density increased, the model delivered successful predictions in August, although deviations were notable in July. In the autumn and winter months, the model generally achieved high accuracy, though prediction errors rose again toward the end of the year. The Random Forest model accurately predicted vehicle passage trends, even under pandemic conditions. Its accuracy exceeded 95% in many months, with particularly close predictions in March and August. However, prediction errors were relatively higher in January, May, and June, indicating the model's difficulty in adapting to periods of intense fluctuations.

6.2.2. Post-Pandemic Period

As illustrated in Figure 6, vehicle passage trends at 19 different intersections during the post-pandemic period (2023-2024). The black lines represent actual vehicle passage numbers, while the red lines represent the predictions made by the Random Forest model. Overall, Hükümet Intersection (Intersection 9) continued to experience the highest traffic density, whereas other intersections (particularly Intersections 1-8 and 10-19) maintained lower traffic volumes. The Random Forest algorithm accurately predicted general trends and traffic density with high precision.

In the post-pandemic period, an overall increase in traffic volume has been observed. This increase can be attributed to the revival of economic activities and the normalization of social life. However, fluctuations persist in certain months and intersections. These fluctuations highlight the impact of seasonal effects and social dynamics on traffic flow during specific periods. The Random Forest model demonstrated a high level of alignment with actual data. The model's R^2 values largely remained above 95%, underscoring its prediction accuracy. These high accuracy rates indicate that the model is an effective tool

for forecasting traffic flow. Nevertheless, in some intersections, seasonal effects and social dynamics limited the accuracy of predictions; despite this, general trends were consistently captured. This showcases the strengths of the model while also indicating areas where improvements are needed under specific conditions.

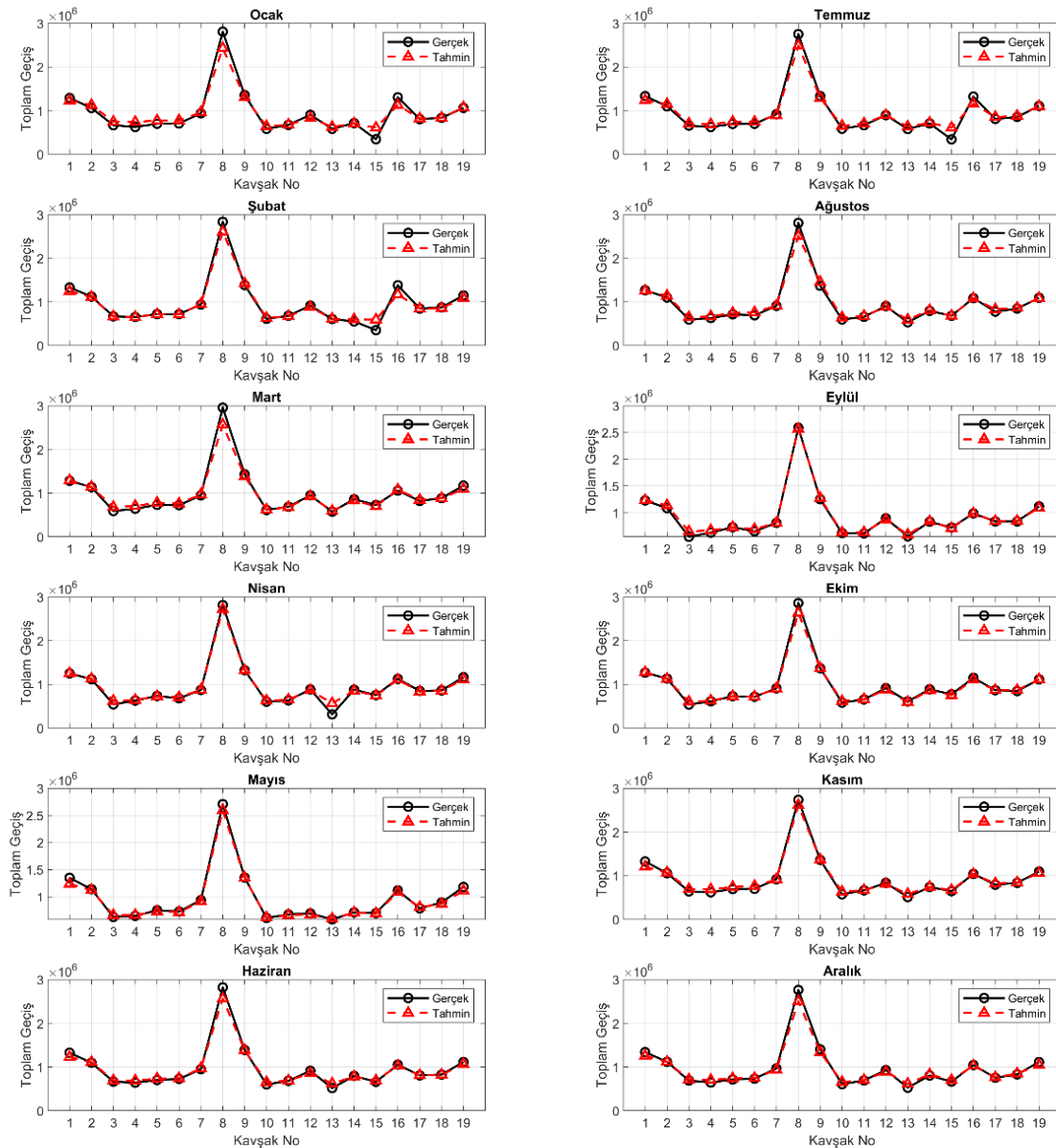


Fig. 6. Estimation of Monthly Vehicle Passage Numbers by Intersections After the Pandemic Period.

Overall, the increase in traffic volume during the post-pandemic period and the high predictive accuracy of the Random Forest model provide valuable insights for traffic management and planning. Conducting additional analyses and improving the model for intersections influenced by seasonal and social dynamics could further enhance the accuracy of future predictions. These findings form a foundation for more effective traffic management and the development of sustainable transportation solutions. As detailed in Table 5, the performance metrics during the post-pandemic period provide valuable insights.

Table 5, evaluates the monthly vehicle passage prediction performance of the Random Forest model during the post-pandemic period (2023-2024). The model achieved its highest accuracy rates in September (R^2 : 0.9947) and May (R^2 : 0.9916), with particularly low error rates in these months. However, prediction accuracy was lower in January (R^2 : 0.9405) and July (R^2 : 0.9578), suggesting that fluctuations in traffic flow adversely affected the model's performance. Overall, the model's prediction accuracy remained notably high ($R^2 > 0.95$), indicating that it reliably captured traffic trends.

The Random Forest model demonstrated high performance during the post-pandemic period. September was the most successful month for the model, achieving the highest accuracy with an R^2 value of 0.9947. Low error values, such as MAE (22,802) and RMSE (32,567), indicate that the model accurately predicted vehicle passage volumes for this month. Similarly, May also showed strong performance, with an R^2 value of 0.9916 and low error levels (MAE: 30,142, RMSE: 43,903). However,

a slight decline in model performance was observed in January and July. In January, the R^2 value dropped to 0.9405, while RMSE (125,239) and MAE (83,051) values increased significantly, suggesting that the fluctuating nature of traffic challenged the model's predictive power. Likewise, in July, the model struggled to fully capture fluctuations, resulting in higher error rates. Overall, the Random Forest model delivered a successful prediction performance during the post-pandemic period, with R^2 values exceeding 0.95 in most cases, proving itself as a reliable tool for understanding traffic trends.

Table 5. Performance Metrics During Post-Pandemic Period.

#	MONTH	MSE	RMSE	MAE	R^2
1	January	15684901485	125239,3767	83051,69603	0,940507971
2	February	9024935956	94999,66293	54427,58374	0,967391510
3	March	9644502909	98206,43008	50127,13268	0,964476300
4	April	4513402025	67181,85785	35745,09337	0,982476068
5	May	1927497010	43903,26878	30142,41602	0,991603098
6	June	5470652272	73963,85788	45435,29955	0,977944812
7	July	10827003396	104052,8875	71763,4365	0,957809187
8	August	6342764004	79641,47163	46186,84769	0,974226465
9	September	1060659451	32567,76706	22802,64585	0,994688139
10	October	3264816622	57138,57385	28289,22732	0,987055951
11	November	2896196847	53816,3251	39978,44552	0,987683048
12	December	5504246856	74190,61164	48260,69823	0,976705948

Hükümet Intersection (Intersection 9) was consistently the point with the highest traffic volume throughout all months. Traffic trends at this intersection were successfully predicted by the model. In industrial zones, particularly at Sanayi 1 Gate and Sanayi 2 Gate intersections, economic activity persisted even during the pandemic, resulting in stable traffic flow. The Random Forest model accurately predicted traffic trends in these areas. At İstasyon and Çardaklı Intersections (Intersections 8 and 10), which had moderate traffic volumes, the model effectively captured overall trends. In the January-March period, fluctuations in traffic density were observed in January, leading to increased model errors. However, in March, the model predicted a more balanced traffic flow. During the April-May period, model performance improved, reaching its peak in May with an R^2 value of 0.9916. Traffic density increased during the summer months (June-August), with a rise in prediction errors in July, followed by a recovery in August. For the September-December period, the model achieved its highest performance in September (R^2 : 0.9947), while prediction errors increased in December.

The Random Forest model performed well overall in predicting traffic trends during the post-pandemic period. It achieved peak accuracy in May and September, with particularly low prediction errors. April also stood out as a successful month, whereas January and July showed relatively weaker performance. The increase in error rates during these months highlights the adverse impact of sudden traffic fluctuations on the model's predictive accuracy. This indicates a need for further model improvements to better adapt to periods with volatile traffic flows. With the normalization of traffic flow in the post-pandemic period, the Random Forest model successfully captured overall trends and provided reliable results for traffic forecasting. This analysis serves as a valuable guide for understanding traffic density in Balıkesir during the post-pandemic period and for evaluating modeling outcomes. The insights provided by the model offer a valuable data source for developing traffic management strategies and informing future traffic planning efforts.

6.2.3. Evaluation of the Pandemic Period and the Subsequent Period

Traffic Trends and Intersection Densities:

During the pandemic period, traffic density generally remained at low levels due to factors such as lockdowns and business closures, with significant fluctuations observed in certain months. During this time, Hükümet Intersection (Intersection 9) stood out as the intersection with the highest traffic flow. In contrast, Sanayi 1 and 2 Gates, along with nearby intersections (Intersections 8 and 10), exhibited relatively lower traffic levels. These differences reflect the impact of the pandemic on economic and social activities in different regions.

In the post-pandemic period, specifically during 2023-2024, traffic density began to normalize, and vehicle passage volumes generally increased. Hükümet Intersection maintained its position as the intersection with the highest traffic flow during this period. Meanwhile, vehicle passage volumes at industrial and peripheral intersections showed a moderate increase compared to the pandemic period. This increase can be attributed to the revival of economic activities and the return to normalcy in social life. These changes in post-pandemic traffic dynamics emphasize the importance of reviewing regional traffic management strategies and adapting to evolving conditions.

Traffic Density and Fluctuations:

During the pandemic period, significant decreases and sudden increases in vehicle passage volumes were observed due to lockdowns and other measures. These fluctuations became particularly evident during the periods when restrictions were

implemented or lifted, making it more challenging for the model to generate accurate predictions. The transitions between imposing and lifting restrictions caused unpredictable changes in traffic flow, which adversely affected the accuracy of the prediction models.

In the post-pandemic period, traffic flow became more regular. During 2023-2024, with the normalization process, vehicle passage volumes generally increased, and traffic dynamics followed a more stable pattern. Particularly in September, the model achieved highly successful predictions with low error rates. This success can be considered an indicator of the effectiveness of post-pandemic traffic regulations and the revival of economic activities.

Model Performance:

During the pandemic period, the Random Forest model demonstrated generally successful predictive performance. The model's R^2 values remained mostly above 0.95, indicating that it accurately captured fluctuations in traffic. Particularly in March, April, and August, the model's prediction errors were at notably low levels. However, the model's performance weakened in January and November due to fluctuating traffic conditions, resulting in higher error rates. This highlights the impact of unpredictable changes during the pandemic on the model's accuracy.

In the post-pandemic period, the Random Forest model made successful predictions with R^2 values ranging from 0.94 to 0.99. May and September emerged as the months with the highest accuracy levels for the model. The more stable traffic density during this period contributed to the model's consistent performance. However, relatively higher prediction errors were observed in January and July, attributed to increased traffic fluctuations during these months. While the normalization process following the pandemic made traffic flow more predictable, improving the model's overall performance, fluctuations during certain periods still challenged its predictive accuracy.

These findings demonstrate that the Random Forest model generally provided reliable results in traffic predictions during both the pandemic and post-pandemic periods, but its performance could fluctuate under specific conditions. The high accuracy rates suggest that the model can provide valuable insights for traffic management and planning, while also emphasizing the need for additional measures and model improvements during periods of fluctuation. In the future, the development of methods better suited to sudden changes in traffic dynamics could enhance the model's predictive success and support the effectiveness of traffic management strategies.

7. Conclusions and Recommendations

The COVID-19 pandemic has caused profound changes not only in health and social domains but also in transportation dynamics and traffic management. This study analyzed traffic density in Balıkesir province during the pandemic and post-pandemic periods, evaluating the potential contributions of machine learning and AI-based approaches to traffic management. The increase in individual vehicle usage and the decline in public transportation preferences clearly demonstrated the pandemic's impact. During the pandemic, traffic density in city centers decreased by over 50%, indicating a shift toward private vehicle use driven by health concerns. This decrease, particularly observed in commercial and social centers, highlights how transportation preferences were reshaped by health-related considerations.

The regression analyses and Random Forest model used in this study successfully analyzed traffic fluctuations during the pandemic and the increase in traffic volumes during the post-pandemic period. The findings revealed fluctuations in vehicle traffic during the pandemic and showed that traffic density in areas such as industrial zones, where logistical activities continued, was less affected. The relatively stable traffic flow at intersections near industrial zones demonstrates the continuity of economic activities in these areas. However, the increase in individual vehicle usage poses a risk of exceeding pre-pandemic traffic density levels at city center intersections. The decline in public transportation usage and the preference for private vehicles significantly impacted urban traffic, necessitating new arrangements at intersections.

Machine learning approaches such as the Random Forest model accurately predicted traffic normalization trends in the post-pandemic period. The model achieved high accuracy rates ($R^2 > 0.99$) in May and September, successfully forecasting post-pandemic traffic flow. However, during January and July, increased traffic fluctuations led to higher prediction errors. This indicates the need for model enhancements to better adapt to complex and variable traffic flows. Overall, the contributions of machine learning approaches to evaluating and predicting traffic trends underscore their value, particularly in analyzing post-pandemic traffic dynamics.

Comprehensive measures are needed in the post-pandemic period to encourage individuals to return to public transportation. Hygiene standards in public transportation systems should be improved, and regular health-related information campaigns should be conducted. Furthermore, enhancing accessibility and comfort standards is essential to make public transportation more appealing. To counter the increase in private vehicle usage, promoting environmentally friendly transportation modes can be an

effective strategy to reduce urban traffic density. Investments in infrastructure supporting micromobility options such as bicycles and scooters should be prioritized, and pedestrian pathways should be improved for short-distance travel.

Given the critical role of intersections in traffic flow, upgrading existing signalization systems to adaptive systems is crucial. The implementation of smart traffic management systems can improve traffic flow by optimizing signal timings based on real-time traffic density. Solutions such as green wave applications can effectively reduce congestion in city centers. Additionally, physical adjustments to intersections, particularly in high-traffic areas, can alleviate congestion. In intersections with heavy vehicle traffic, the construction of grade-separated intersections (multi-level intersections) can provide long-term relief from traffic congestion. Heavy vehicle traffic concentrated in industrial zones increases pressure on infrastructure in these areas. Therefore, the optimization of logistics centers serving industrial zones and the regulation of heavy vehicle traffic during specific time intervals are necessary. The observed increases in traffic density in specific areas and times highlight the need for flexible traffic management systems. Moreover, the data obtained during the pandemic serve as a valuable guide for managing urban traffic more efficiently during crises. Based on these findings, more flexible and sustainable transportation policies should be developed to prepare for similar crises in the future.

The fluctuations in traffic density and changes in transportation preferences experienced during the pandemic necessitate the development of new approaches to traffic management and planning in cities like Balıkesir. In this context, transportation policies must be structured to support long-term and environmentally sustainable goals. The adoption of smart traffic systems, widespread implementation of green wave applications, and support for micromobility solutions will enable more efficient and sustainable urban transportation management.

Acknowledgments: This study is derived from a master's thesis completed at the Bandırma Onyedi Eylül University, Graduate School of Postgraduate Education, Department of Intelligent Transportation Systems and Technologies. The research was conducted independently, utilizing publicly available data and resources, without direct support from any individual or organization.

References

- [1] E. Korkmaz, "COVID-19 Salgın Sürecinin Toplu Taşıma Sistemlerine Etkisinin Anket Yöntemiyle İstanbul-Ankara İçin İncelenmesi," *Journal of Disaster and Risk*, pp. 248, 2022.
- [2] Şahin, H., Yetişkul, E. (2021). Kentsel Ulaşım, Salgınlar ve Covid-19: Ankara Toplu Taşıma Sistemi, İDEALKENT, (COVID-19 Sonrası Kentsel Kamusal Mekânların Dönüşümü), pp. 415-451. <https://doi.org/10.31198/idealkent.880890>. 2021.
- [3] Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), "Motorlu kara taşıtları bülteni," Türkiye İstatistik Kurumu Yayınları, Nisan 2021. [Online]. Available: <https://www.tuik.gov.tr>.
- [4] A. Dağlı, S. Aydın, ve O. Çoruh, "Türkiye'deki ana arterlerde COVID-19 etkisi: Antalya örneği," *Journal of Urban Mobility*, vol. 5, no. 3, pp. 54-70, 2021.
- [5] Y. Wang, Q. Zhang, ve B. Wolshon, "Estimating long-term and short-term impact of COVID-19 activity restriction on regional highway traffic demand: A case study in Zhejiang Province, China., 2023.
- [6] C. Cruz ve M. Sarmiento, "The Impact of COVID-19 on Highway Traffic and Management: The Case Study of an Operator Perspective, 2021.
- [7] Uğur Eren Uzar, Türkiye Geneline Covid-19 Salgınının Seyahat Davranışlarına Etkisinin İncelenmesi ,pp 2 2023.
- [8] H. Asari, "Decreased traffic volume during COVID-19 did not reduce roadkill on fenced highway network in Japan, 2021.
- [9] S. Kawathekar ve R. Bakde, "Traffic Count Analysis during COVID-19: Case Study of Toll Plazas under Project Highway along Nagpur- Jabalpur National Highway (NH44) near Nagpur, India, 2022.
- [10] G. Karahan, Pandemi Döneminde İstanbul'da İşe Ulaşma Yöntemleri | Commuting to Work in Istanbul During the Pandemic Period, 2021.

- [11] J. Hughes, D. T. Kaffine, ve B. M. Kaffine Decline in Traffic Congestion Increased Crash Severity in the Wake of COVID-19, 2022.
- [12] M. Gu, S. Sun, F. Jian ve X. Liu, Analysis of Changes in Intercity Highway Traffic Travel Patterns under the Impact of COVID-19, 2021.
- [13] M. Akı yaman, A. E. Erbaş , ve P. Alpkökin, COVID-19 sonrası kentlerde ulaşım planlamasında ara toplu taşımanın önemi, 2023.
- [14] J. De Vos, he effect of COVID-19 and subsequent social distancing on travel behavior, 2020.
- [15] M.M.. Akmaz, “Konya’nın Önemli Sinyalize Kavşaklarının Bilgisayar Programı İle İncelenmesi 2012.
- [16] Y.N. Gülgeç, Sinyalize Kavşaklarda Trafik Akim Etkileşimleri Ve Bulanık Mantık Ile Değerlendirilmesi Balıkesir Örneği, 2019.
- [17] A.C. Demiral, “Antalya İli Muratpaşa İlçesinde Sinyalize Kavşak Analizi Örnek Çalışması, 2019
- [18] Ç. Bozkurt, “Kırıkkale Kent Merkezinde Sinyalize Kavşakların İncelenmesi; Samsun Bulvarı Örneği ,2010
- [19] Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), “Türkiye’nin nüfus ve ulaşım istatistikleri,” Türkiye İstatistik Kurumu Yayınları, 2023. [Online]. Available: <https://www.tuik.gov.tr>.
- [20] Balıkesir Büyükşehir Belediyesi (BBB), “Kent Rehberi,” Balıkesir Büyükşehir Belediyesi Yayınları, 2024.
- [21] Balıkesir Büyükşehir Belediyesi (BBB), “Balıkesir Şehir İçi Trafik Planlaması Raporu,” Balıkesir Büyükşehir Belediyesi Yayınları, 2020.
- [22] Balıkesir Büyükşehir Belediyesi (BBB), “Ulaşım Master Planı (UAP),” Balıkesir Büyükşehir Belediyesi Yayınları, 2018.
- [23] Balıkesir Büyükşehir Belediyesi (BBB), “Balıkesir Ulaşım Master Planı,” Balıkesir Büyükşehir Belediyesi Yayınları, 2018.
- [24] C. Turan, Sinyalize Dönel Kavşakların Trafik Mikrosimülasyon Yöntemi Ile Modellenmesi Ve İyileştirme Önerilerinin Analizi, 2019.
- [25] H.N. Jiman ve N.A. Hussein, “TRAFFIC ASSESSMENT AND OPTIMIZATION AT SIGNALIZED INTERSECTIONS: A REVIEW STUDY, 2022.
- [26] Murat, Y., Ş.,Denizli Şehiriçi Kavşaklardaki Trafik Akımlarının Bilgisayarlarla İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 6-21, (1996).
- [27] Liu, Z. A survey of intelligence methods in urban traffic signal control. IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security, 7(7), 105-112. (2007).
- [28] T. Özkul, 10.Yıl Arterindeki 3 Eş Düzey Sinyalize Kavşağın Akıllı Kavşak Performanslarının İncelenmesi,2023
- [29] Qihui Li, Qiang Bai , Aihui Hu, Zhoulin Yu, and Shixiang Yan, How Does COVID-19 Affect Traffic on Highway Network: Evidence from Yunnan Province, China 2022.
- [30] Eşref Güçlü, Van Kent İçi Ulaşımında Akıllı Kavşak Yönetimi İçin Bir Planlama Çalışması, 2016