

ISSN: 2645-8969



İstanbul Ticaret Üniversitesi



Teknoloji ve Uygulamalı Bilimler Dergisi

Cilt VI- Sayı-II
Şubat 2024

Adres : Küçükaly E5 Kavşağı İnönü Cad. No: 4, Küçükaly 34840, İstanbul
Telefon : +904440413#3300
Faks : +902164890269
İnternet : <https://dergipark.org.tr/tr/pub/icujtas> |
tub@ticaret.edu.tr

ticaretedutr

İstanbul Ticaret Üniversitesi Adına Sahibi Prof. Dr. Abdulhamit AVŞAR
Owner on behalf of Istanbul Commerce University *Rectör / Rector*

Doç. Dr. Mustafa Cem KASAPBAŞI Editör / *Editor-in-Chief*

Editörler

Editors

Engin ÇETİN Türkçe Editörü / *Turkish Editor*
Fatih TANRIVERDİ İngilizce Editörü / *English Editor*
Prof. Dr. A. Halim ZAİM Alan Editörü / *Field Editor*
Derya İGDE Alan ve Yardımcı Editör/
Field and Vice Editor
Leyla SÜRİ Alan Editörü / *Field Editor*

Sorumlu Yazı

İşleri Müdürü

Publishing Manager

İstanbul Ticaret Üniversitesi, Engin ÇETİN

Yönetim Yeri

Head Office

İstanbul Ticaret Üniversitesi

Yazışma Adresi

*Corresponding
Address*

Örnektepe Mah. İmrahor Cad. No: 88/2, Beyoğlu 34445 / İSTANBUL
Tel: +90 212 444 0 413 E-posta: tub@ticaret.edu.tr

İnternet Adresi

Web Address

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/icujtas>

Yayın Türü

Publication Type

Yerel Süreli / *Periodical*
Şubat ve Ağustos aylarında olmak üzere yılda iki sayı yayımlanır
Published twice a year, in February and August e-ISSN: 2645-8969

Yayın Tarihi

Publication Date

29.02.2024

Yayın Kurulu

Editorial Board

Doç. Dr. Mustafa Cem KASAPBAŞI Baş Editör (İstanbul Ticaret Üniversitesi)
Prof. Dr. Rahmi Deniz ÖZBAY (İstanbul Ticaret Üniversitesi)
Prof. Dr. Celalettin AKTAŞ (İstanbul Ticaret Üniversitesi)
Prof. Dr. Necip ŞİMŞEK (İstanbul Ticaret Üniversitesi)
Prof. Dr. Abdul Halim ZAİM (İstanbul Ticaret Üniversitesi)
Prof. Dr. Muammer KALYON (İstanbul Ticaret Üniversitesi)
Prof. Dr. Mustafa KÖKSAL (İstanbul Ticaret Üniversitesi)
Prof. Dr. Gülay ÖZTÜRK (İstanbul Ticaret Üniversitesi)
Prof. Dr. Elçin AYKAÇ ALP (İstanbul Ticaret Üniversitesi)
Doç. Dr. Elammaran JAYAMANİ (Swinburne University of Technology, Sarawak, Malaysia)
Doç. Dr. P. SENTHAMARAIKANNAN (Kamaraj College of Engineering and Technology, Tamilnadu, India)
Doç. Dr. Erdem YAVUZ (Bursa Teknik Üniversitesi)

Doç. Dr. Can EYÜPOĞLU (Milli Savunma Üniversitesi, Hava Harp Okulu)
Doç. Dr. Hanifi PARLAR (İstanbul Ticaret Üniversitesi)
Doç. Dr. Mustafa Emre CİVELEK (İstanbul Ticaret Üniversitesi)
Doç. Dr. Buket DOĞAN (Marmara Üniversitesi)
Doç. Dr. Önder DEMİR (Marmara Üniversitesi)
Doç. Dr. Ebru Şensöz MALKOÇ (İstanbul Ticaret Üniversitesi)
Doç. Dr. Muhammet CEYLAN (İstanbul Ticaret Üniversitesi)
Dr. Indran SUYAMBULINGAM (King Mongkut's University of Technology, Bangkok, Thailand)
Dr. Divya DİVAKARAN (King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok, Thailand)
Dr. Mohit Hemanth KUMAR (Alliance University, Bengaluru, Karnataka, India)
Dr. Sumesh Keerthiveetil RAMAKRISHNAN (Czech Technical University in Prague, Czech Republic)

Danışma Kurulu
Advisory Board

Prof. Dr. Celalettin AKTAŞ (İstanbul Ticaret Üniversitesi)
Prof. Dr. Ömer TORLAK (İstanbul Ticaret Üniversitesi)
Prof. Dr. Ömer ÇAHA (İstanbul Ticaret Üniversitesi)
Prof. Dr. Necip ŞİMŞEK (ÖSYM)
Prof. Dr. Abdul Halim ZAİM (İstanbul Ticaret Üniversitesi)
Prof. Dr. Muammer KALYON (İstanbul Ticaret Üniversitesi)
Prof. Dr. Mustafa KÖKSAL (İstanbul Ticaret Üniversitesi)
Prof. Dr. Gülay ÖZTÜRK (İstanbul Ticaret Üniversitesi)
Prof. Dr. Elçin AYKAÇ ALP (İstanbul Ticaret Üniversitesi)
Prof. Dr. Rıfat YAZICI (İstanbul Ticaret Üniversitesi)
Prof. Dr. İsmail TORÖZ (İstanbul Teknik Üniversitesi)
Prof. Dr. Kadir GÜLER (İstanbul Teknik Üniversitesi)
Prof. Dr. Şehabettin Taha İMECİ (University of Sarajevo)
Prof. Dr. Şükrü Yıldız (İbn Haldun Üniversitesi)
Prof. Dr. Cihat DEMİRLİ (Milli Eğitim Bakanlığı)
Prof. Dr. Emine Esra KASAPBAŞI (Haliç Üniversitesi)
Doç. Dr. Mustafa Emre CİVELEK (İstanbul Ticaret Üniversitesi)
Doç. Dr. Buket Doğan (Marmara Üniversitesi)
Doç. Dr. Elif Kısar KORAMAZ (İstanbul Teknik Üniversitesi)
Doç. Dr. Ebru Şensöz MALKOÇ (İstanbul Ticaret Üniversitesi)
Doç. Dr. Hanifi PARLAR (İstanbul Ticaret Üniversitesi)
Doç. Dr. Muhammet CEYLAN (İstanbul Ticaret Üniversitesi)
Doç. Dr. Mustafa Cem KASAPBAŞI (İstanbul Ticaret Üniversitesi)
Doç. Dr. Erdem YAVUZ (Bursa Teknik Üniversitesi)
Doç. Dr. Can EYÜPOĞLU (Milli Savunma Üniversitesi, Hava Harp Okulu)
Doç. Dr. Önder DEMİR (Marmara Üniversitesi)
Doç. Dr. Gül Aslı AKSU (Kastamonu Üniversitesi)

Cilt 6 Sayı 2
Hakem Listesi
Volume 6 Issue 2
Reviewers List

Selim BAYRAKLI, Erdem YAVUZ, Mustafa Cem KASAPBAŞI, Metin TURAN, Ali BOYACI, Berk AYVAZ, Ali Osman KUŞAKÇI, Sibkat KAÇTIOĞLU, İsmail EKMEKÇİ, Yaprak ÖZEL, Özdemir SÖNMEZ, İrmak Bayburtlu ÇETİNSOY, Burhan SATICI, Gül Aslı AKSU, Elif Kısar KORAMAZ, Erincik EDGÜ, Buket DOĞAN, Zeynep ESMER

Değerli Okurlar,

İstanbul Ticaret Üniversitesi Teknoloji ve Uygulamalı Bilimler Dergisi VI. Cildinin II. Sayısı tamamlanmış olup, siz saygıdeğer ve değerli okurlarımıza sunmaktan büyük onur ve mutluluk duyuyoruz.

Dergimizin bu sayısında, Bilgisayar Mühendisliği, Endüstri Mühendisliği, İç Mimarlık, Mimarlık, Kentsel Çalışmalar orijinal araştırma ve derleme makalelerine yer verilmiştir.

Dergimize çalışmalarını göndererek katkı sağlayan tüm yazarlarımıza, bu çalışmalarını değerlendirerek yorumlarını bildiren hakemlerimize ve derginin hazırlanmasında emeği geçen tüm çalışma arkadaşlarımıza teşekkürü bir borç biliriz.

Dergimizin bu sayısının siz okurlarımıza yararlı olmasını diler, saygılar sunarız.

Doç. Dr. Mustafa Cem KASAPBAŞI

Baş Editör

İstanbul Ticaret Üniversitesi Teknoloji ve Uygulamalı Bilimler Dergisi

Dear Readers,

The VI. volume II. issue of the Istanbul Commerce University Journal of Technology and Applied Sciences has been completed, and we are honored and pleased to present it to our esteemed and valuable readers.

In this issue of our journal, original research and survey articles in the fields of Computer Engineering, Industrial Engineering, Interior Architecture, Architecture, Urban Studies are included.

We would like to thank all our authors who contributed to our journal by submitting their studies, our referees who evaluated these studies and gave their comments, and all our colleagues who contributed to the preparation of the journal.

We hope this issue of our magazine will be useful to you, our readers, and we present our respect.

Assoc. Prof. Dr. Mustafa Cem KASAPBAŞI
Editor-in-Chief
Istanbul Commerce University
Journal of Technology and Applied Sciences

Amaç ve Kapsam

Teknoloji Ve Uygulamalı Bilimler Dergisi, araştırmaları altı ayda bir uluslararası yayımlayan hakemli bir dergidir. Gönderilen çalışmaların teknolojinin tüm alanları, mühendislik, uygulamalı bilimler, mimarlık kentsel çalışmalar alanında olması, mutlaka çalışmalarda özgünlük, önem, güncel duruma katkı içermesi beklenmektedir.

Teknoloji ve Uygulamalı Bilimler Dergisi ayrıca bilimi, bilim adamlarını ve daha geniş halkı etkileyen güncel ve gelecek bilimsel yönelimlerin de bulunduğu hızlı, yetkili, anlayışlı ve dikkat çekici haberleri ve yorumları da içermektedir.

Aim and Scope

The Journal of Technology and Applied Sciences is a peer-reviewed journal that publishes research internationally every six months. It is expected that the submitted works will be in all fields of technology, engineering, applied sciences, architecture, urban studies, and necessarily include originality, importance and contribution to the current state of art.

Journal of Technologies and Applied Sciences also provides rapid, authoritative, insightful and arresting news and interpretation of topical and coming scientific trends affecting science, scientists and the wider public.

İçindekiler

Araştırma Makaleleri

Sayfa

<i>TEKSTİL BOYAMA SÜRECİ VE YAPAY ZEKA KULLANARAK BOYAMA REÇETESİ TAHMİNİ</i>	1-20
<i>GÖRÜNTÜLER İÇİN ALFA KANALINI MASKELEYEREK VERİ GİZLEME TEKNİĞİ VE UYGULAMASI</i>	21-35
<i>İKİNCİ EL ARAÇ DEĞERLEMESİNDE MAKİNE ÖĞRENME TEKNİKLERİNİN UYGULANMASI</i>	37-51
<i>CRITIC VE WASPAS YÖNTEMLERİ KULLANILARAK TÜRKİYE İÇİN EN UYGUN YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAĞININ SEÇİMİ</i>	53-80
<i>HOLT-WINTERS VE BOX-JENKINS MODELLERİNİ KULLANARAK SU TÜKETİMİ TAHMİNİ: İSTANBUL ÖRNEĞİ</i>	81-96
<i>BİYO FİLİK TASARIM YAKLAŞIMI OLARAK YEŞİL CEPHE UYGULAMALARI ÜZERİNE ARAŞTIRMA</i>	97-113
<i>KENTSEL DÖNÜŞÜMÜN KARTAL İLÇESİNDEKİ ETKİSİ</i>	115-128

Index

<i>Research Papers</i>	<i>Page</i>
<i>TEXTILE DYEING PROCESS AND DYEING RECIPE PREDICTION USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE</i>	<i>1-20</i>
<i>DATA HIDING TECHNIQUE AND ITS APPLICATION BY MASKING THE ALPHA CHANNEL FOR IMAGES</i>	<i>21-35</i>
<i>APPLICATION OF MACHINE LEARNING TECHNIQUES IN USED VEHICLE VALUATION</i>	<i>37-51</i>
<i>THE SELECTION OF APPROPRIATE RENEWABLE ENERGY SOURCE FOR TURKEY BY USING CRITIC AND WASPAS METHODS</i>	<i>53-80</i>
<i>FORECASTING WATER CONSUMPTION USING HOLT -WINTERS AND BOX-JENKINS MODELS: A CASE STUDY OF İSTANBUL</i>	<i>81-96</i>
<i>RESEARCH ON GREEN FACADE APPLICATIONS AS A BIOPHILIC DESIGN APPROACH</i>	<i>97-113</i>
<i>THE EFFECT OF URBAN TRANSFORMATION IN KARTAL DISTRICT</i>	<i>115-128</i>

Research Article

TEXTILE DYEING PROCESS AND DYEING RECIPE PREDICTION USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE

İsmet Can ŞAHİN[†], Can EYÜPOĞLU^{††}

[†] National Defence University, Atatürk Strategic Studies and Graduate Institute, Department of Computer Engineering, Istanbul, Turkey

^{††} National Defence University, Turkish Air Force Academy, Department of Computer Engineering, Istanbul, Turkey

ismetcsahin@gmail.com, caneyupoglu@gmail.com



0000-0003-1674-2116, 0000-0002-6133-8617

Atf/Citation: ŞAHİN, İ. C., EYÜPOĞLU, C., (2023). Textile Dyeing Process and Dyeing Recipe Prediction Using Artificial Intelligence, Journal of Technology and Applied Sciences 6(2) s.1-20, DOI: 10.56809/icujtas.1293563

ABSTRACT

In this study, a comprehensive analysis is presented of the determination and estimation of the sample color or target color taken from the customer in the laboratory department of textile dyeing companies. The importance of the textile industry in the world and in Turkey is also mentioned. In the report published by Statista, it is seen that the textile industry has a share of 3.3% in Turkey and the world. In this work, a sample study was conducted in a textile finishing company, and the processes were shared. First, the classical processes used to determine the target color are explained in detail. Then, it was mentioned how the data obtained with the spectrophotometer device is used in color estimation using machine learning methods and artificial neural networks. According to the results of the examination, it is seen that the data obtained with the hyperspectral camera device is estimated by the long-short-term memory (LSTM) model since the spectrophotometer device is expensive and has not given accurate results recently. In addition, it has been observed that this model gives better results than the same model created from the data obtained with the spectrophotometer device.

Keywords: Dyeing Recipe Prediction, Artificial Intelligence, Textile Dyehouse, Color Space, Spectrophotometer

TEKSTİL BOYAMA SÜRECİ VE YAPAY ZEKA KULLANARAK BOYAMA REÇETESİ TAHMİNİ

ÖZET

Bu çalışmada tekstil boyama firmalarının laboratuvar bölümünde müşteriden alınan numune renginin veya hedef rengin belirlenmesi ve tahmin edilmesi üzerine kapsamlı bir analiz sunulmaktadır. Tekstil sektörünün dünyadaki ve Türkiye'deki önemine de değinilmektedir. Statista'nın yayınladığı raporda tekstil sektörünün Türkiye'de ve dünyada %3,3'lük bir paya sahip olduğu görülmektedir. Bu çalışmada bir tekstil terbiye firmasında örnek bir çalışma yapılmış ve süreçler paylaşılmıştır. İlk olarak hedef rengi belirlemek için kullanılan klasik süreçler kapsamlı bir şekilde anlatılmıştır. Ardından spektrofotometre cihazı ile alınan verilerin makine öğrenmesi yöntemleri ve yapay sinir ağları kullanılarak renk tahmininde nasıl kullanıldığından bahsedilmiştir. Yapılan inceleme sonuçlarına göre son zamanlarda spektrofotometre cihazının pahalı olması ve kesin sonuç vermemesi sebebiyle hiperspektral kamera cihazı ile elde edilen verilerin uzun kısa-sürekli bellek (Long Short-Term Memory-LSTM) modeli ile tahmin edildiği görülmektedir. Ayrıca bu modelin spektrofotometre cihazı ile elde edilen verilerden oluşturulan aynı modele göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Boyama Reçetesi Tahmini, Yapay Zekâ, Tekstil Boyahanesi, Renk Uzayı, Spektrofotometre

Geliş/Received : 06.05.2023

Gözden Geçirme/Revised : 01.06.2023

Kabul/Accepted : 15.06.2023

1. INTRODUCTION

The term “textiles” refers to the basic materials made from woven fibers, but clothing and other items are created from those materials using other processes, such as stitching. The primary types of textiles include mills that make other textile products, such as fabrics, yarn, and fiber, as well as floor coverings, furniture, and textile and fabric finishing. With a compound annual growth rate (CAGR) of 6.6%, the global textile industry increased from \$573.22 billion in 2022 to \$610.91 billion in 2023. The possibility of an international economic rebound brought on by the COVID-19 pandemic was, at least temporarily, constrained by the conflict between Russia and Ukraine (Textile Global Market Report, 2023).

Economic sanctions against several nations, an increase in commodity prices, and supply chain disruptions as a result of the conflict between these two nations have raised the price of goods and services and had an impact on numerous international marketplaces. With a CAGR of 5.5%, the global textile market is projected to reach \$755.38 billion in 2027 (Textile Global Market Report, 2023).

The need for smart textiles is being driven by improvements in wireless technology and an increase in the demand for connectivity. Smart textiles are materials with an environmental response. They are capable of responding to external physical stimuli from mechanical, electrical, chemical, and thermal sources. The three main parts of smart textiles are sensors, actuators, and fabrics. Metals, conductive polymers, and optical fibers are some of the materials utilized in smart textiles. They are extensively employed in the military, fashion, entertainment, health care, transportation, sports, and physical fitness. One such tool on the Citizen Science d-shirt is a heart rate monitor, along with an integrated GPS, accelerometer, and altimeter. In 2022, Asia-Pacific was the region with the largest textile industry. Western Europe was the second-largest textile market area (Textile Global Market Report, 2023).

Daiwabo Holdings Co. Ltd., Tarkett S.A., Mohawk Industries Inc., Masco Corporation, Toray Industries Inc., Ashley Furniture Industries Inc., Daiwabo Holdings Co. Ltd., Berkshire Hathaway Inc., Far Eastern New Century, Beaulieu International Group, and Grasim Industries Limited are significant players in the textile industry (Textile Global Market Report, 2023).

Fashion is a global industry that has been shown to bring in USD 2.5 trillion each year and employ 75 million people worldwide (Chen et al., 2021).

In a country that has had a long history dating back to the Ottoman Empire, textile manufacturing has remained an integral part of its varied economy. Turkey currently ranks as the fourth-largest exporter of textiles worldwide and is a vital component of an industry that exports more than double what it did in 2000. The Turkish clothing and fabric industry beat out many other countries for this distinguished spot due to its competitive cost, a wide variety of products, and outstanding growth opportunities in retail (Textiles and Clothing Industry in Turkey, 2022).

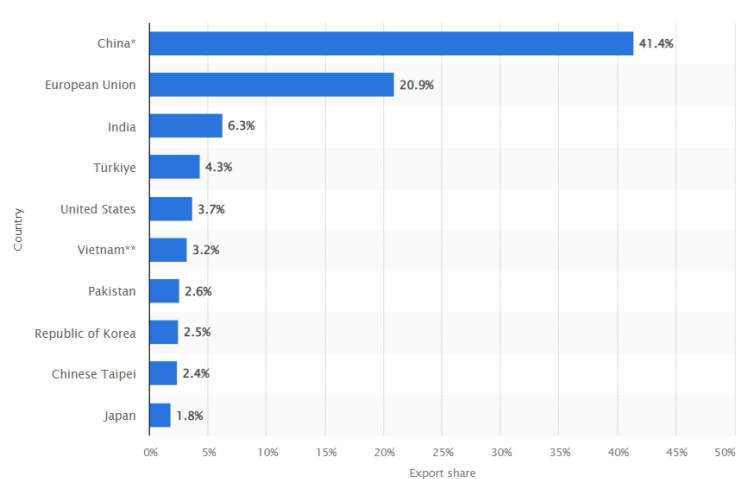


Figure 1. Leading textile exporters in 2020, by country.

Figure 1, as seen in Turkey in 2020, shows that in all countries, in the textile industry, 3.3% has a share. Raw materials make up the majority-more than half, actually-of costs in the textile industry, except for those businesses that deal specifically with dyeing and finishing. These raw materials basically consist of cotton fibers and artificial fibers such as nylon or polyester. Labor comes in second place as far as impacting costs are concerned (about

25%). The proportion of raw materials in overall costs declines in dyeing and finishing operations, while energy costs and depreciation take center stage (Uyanik and Celikel, 2019).

Table 1. Cost components in the textile industry.

Share of Main Cost Items (%)	Textile (General)	Textile (Dyehouse)
Main Material/Chemical Material	33	15
Dyeestuff	4	10
Other Auxiliary Substances	7	-
Workmanship/Human Resources	25	26
Depreciation	7	17
Energy	9	16
Financing	3	2
Maintenance and repair	2	3
Other expenses	10	11

From any given color, one can create an estimated recipe and representative dyes, with results determined by reviews of archives, to determine the estimated recipe that best follows the target color. The target color should be close enough to the archive colors so as to optimize dye creation, giving a truer representation of what that color would look like when creating actual garments. For this reason, it is ideal for the samples used in color tests to also be archived whenever possible and therefore available for future comparisons. It is vital that you consider all your available natural ingredients when developing your recipe, as well as the color depth and nuances of each dye based on its current state. You know, different variations of dye are in different shades, so it's important to pay attention to your resources while creating a recipe and not simply throw away any ingredient you have because they will all have an impact on the outcome of your finished recipe.

For fashion brands, reproducing your brand's shades accurately is imperative. Looking at color samples and adhering to the most accurate hues that you can is what will determine whether or not your textile-related documents gain or lose profit. Some printing and dyeing factories still use methods that are human-centric, but those using a new process that instills color into cloth through algorithmic programming are gaining traction, especially among the more important partners and clients of the fashion industry. It is challenging to match the market's expectations for accuracy, speed, and customization because of these human-centric procedures. In order to increase the effectiveness and accuracy of color matching, computer-aided color matching for textile dyeing and printing is an important research issue. It is also an important way for textile businesses to increase their level of global competitiveness (Chen et al., 2021).

The rest of the paper is organized as follows. Section 2 mentions how a target color is found in a laboratory environment. In Section 3, a practical study conducted with expert knowledge in a laboratory environment in a textile company is introduced. Artificial intelligence in textile industry is mentioned in Section 4 and artificial intelligence methods are examined in Section 5. Section 6 includes the color spaces used in recipe prediction. The spectrophotometer and hyperspectral camera are explained in Section 7. In Section 8, various artificial intelligence models utilized for dyeing recipe prediction are investigated. Finally, conclusions are summarized in Section 9.

2. FINDING THE TARGET COLOR

In this section, the selection of dyestuff suitable for the target color will be explained.

2.1. Structure and Properties of Textile Fabrics

In the first two sections, the importance of fabric type and the importance of dye selection were mentioned. The method used to create all textile materials begins with fibers, regardless of the variety of physical and structural forms they take or the chemical makeup of the materials from which they are formed. According to textile terms and definitions, a textile fiber is a raw material that is typically characterized by flexibility, fineness, and a high length to thickness ratio. Only around 7% of all fibers are thought to be used directly in the production of final goods; instead, the majority of fibers are thought to be spun into yarns before being transformed into fabrics. Dyeing processes with mixtures of fibers also differ (Grishanov, 2011).

2.2. Fabric Dye Selection

The best fabric dye is not as easy to choose as you might believe. Given the vast variety of dyes and materials, this process may prove challenging. It happens that when someone wants to dye fabric for the first time, their first thought is usually, “What color should I use?” However, you should actually start by asking, “What sort of fabric dye do I need?” You must be aware of the type of yarn used in the fabric in order to respond to this query. Each of them will be better suited for a certain type of yarn, while some of them won’t work with all yarn types. It is crucial to select the best dye for the fabric you will be working with, but you should also be aware that some dyes may be more poisonous or harmful to the environment than others (Grishanov, 2011).

2.3. Receiving Sample from Customer

A customer takes an existing piece of fabric or a textile sample to a textile dyeing house and asks them to match the color with dye. The dyeing house then takes that piece of cloth to a textile lab, where they build a digital mock-up of the color before approving it. Once approved, the materials in question are sent back to the customer, where they are dyed with dye mix-match.

As can be seen in Figure 2, to know the best shade of a color, one needs to identify the pantone number and confirm the material. The common standard is the Pantone Matching System, which has a unique identifying number for each shade, though there are many other alternatives nowadays.



Figure 2. Color pantone.

As can be seen in Figure 3, if a customer wants to request the color of any type of textile, the customer can send representative samples of different colors and ask for an order after choosing and becoming satisfied with his or her chosen colors.



Figure 3. Colored textile material.

The colors our customers choose for their specimen are identified by a number when we work at the dyehouse. When ordering the same color again, our customers use this number to ask for it. As can be seen in Figure 4, pre-painted color in this manner, the customer can request on this color.



Figure 4. Pre-dyed customer color.

2.4. Creating Estimated Recipe for Target Color

First, a spectrophotometer is used to create an estimated formula for the desired target color, as well as a search for recipes from the archive.

2.5. Looking at Archive

Each different recipe is stored in its own special envelopes inside a folder. The folder contains things such as the customer's name, the number of colors used, the type of fabric, the dyeing instructions, and samples of swatches suitable for the final product. As can be seen in Figure 5, for each main colour in the book are kept in the archive.



Figure 5. Archival data.

2.6. Determination of Recipe by Spectrophotometer

A spectrophotometer is a device for measuring color that receives a color value by measuring the way light interacts with an object. The device also includes filters that allow us to see how much of the spectrum (such as UV, blue, red and yellow). Measurement and evaluation of a number assigned to the color of an object; this procedure is carried out according to international standards. The spectrophotometer has many features:

- Determining a recipe for a new color,
- The process of finding the nearest color from the color archive,
- Calculation of the amount of g/kg of dye according to the production quantity of the found recipe,
- Calculation of the recipe dye price,
- Transfer of the recipe to the color archive (Ministry of National Education, 2011).

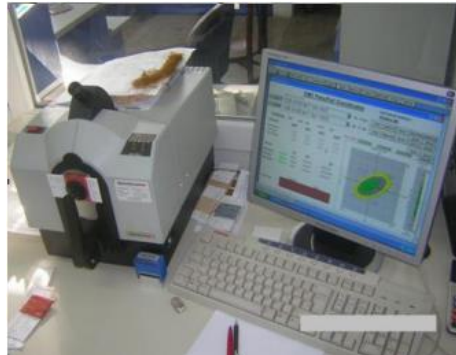


Figure 6. Spectrophotometer device.

The following are the color measurement stages of the newly arrived sample with a spectrophotometer.



Figure 7. Placing the sample in the appropriate place.



Figure 8. Closing the lid so that it does not see the light.

As in Figure 6, the sample is read to the spectrophotometer and displayed on the screen with the desired recipe alternatives. Figures 7 and 8 show how the sample should be placed. Figure 9 shows the images given to the spectrophotometer device for a new dye.



Figure 9. Dyeing of colors certain intervals.

The colors of the dyestuffs dyed on the spectrophotometer should be given certain intervals. Because in order to make a recipe estimate, it is necessary to recognize the existing colors. As can be seen from Figure 9, about 15 colors were studied. While there are positive sides to using a spectrophotometer device, there are also negative sides.

A recipe is formulated using dyes selected for this color, taking into consideration the recipes of nearby colors found from our archive for the target color as well as the individual measurements determined by a spectrophotometer. The formulation can then be made in one of multiple ways. When creating a recipe, it is important to have some general knowledge about the colors you might use in that recipe. As you might already know, there are different kinds of dyes that vary in degree of depth and tone – each with their own characteristics and abilities.

One of the negative aspects of the spectrophotometer is that no domestic product has been developed in our country. In addition, with the recent increase in inflation and the impact of the dollar exchange rate, it has become even more difficult to buy a spectrophotometer device. In order to eliminate the dependence on the spectrophotometer device and to present different perspectives in this period when the digital transformation accelerated so much after the pandemic period, this study has been put forward.

3. SAMPLE WORK IN THE LABORATORY OF TEXTILE DYEING COMPANY

In this section, the recipe preparation process was applied with expert knowledge in a textile dyeing company. The application is explained with an example. The dyeing process is shown in Figure 10.

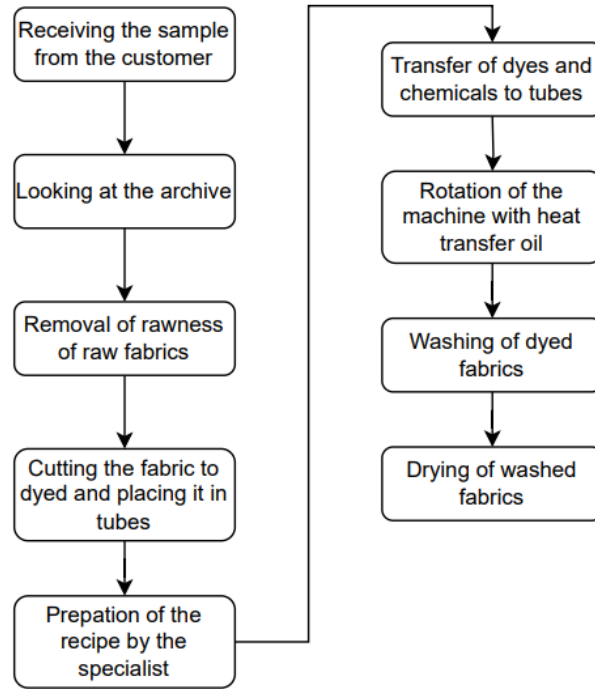


Figure 10. The process of dyeing fabrics.



Figure 11. Raw fabric from customer.

Before dyeing the fabric in the laboratory, the rawness removal process is applied. With this processing, the raw fabric from the customer loses its properties. The raw fabrics from the customer are shown in Figure 11. As an example, six different cotton fabrics are shown in Figure 12 below.



Figure 12. Types of cotton fabrics.

Vegetable oils from the field, mechanical oils from plants or knitting machines, etc. that's why this process is being done. In short, the pollution in the cotton, yarn, knitting process is discarded before dyeing. This checkout process also varies according to the demands of customers. As an example, it is requested to use depilatory, so that the fabric looks brighter. This process is not performed if the customer's fabric is lint-free because it makes disinformation.

Cotton dyeing was performed in this study. A disbergator is not provided for cotton dyeing. It is provided in polyester fabrics. Water, alkali, and salt are given in cotton dyeing. For fabrics that are both cotton and polyester, polyester is dyed first and then cotton. Polyester fabric is dyed at 130 degrees and cotton fabric is dyed at 70 degrees. Hydro sulfide is also used on cotton when washing polyester. In cotton dyeing, an ion holder is used. One or two drops are placed in the water. The possibility of hard water is resisted. It is not used on polyester.

While creating recipes within the enterprise, recipes are also created with different dye brands other than the same dye brands. When creating a recipe for this, in addition to keeping the color, attention is also paid to the cost.

The stages after the preparation of the recipe are mentioned in an ordered manner below:

- In the enterprise where the sample study was conducted, the fabrics are made in 10 gr. After the fabrics from the customer are weighed, they are soaked with water in a beaker.
- Before the recipe was written, recipes were created by looking at the book of the nearest color and the customer's other orders through the notebooks in Figure 5 with expert knowledge. After the recipe is written, the dyes will be pipetted. The recipe written by the specialist are shown in Figure 13 below.

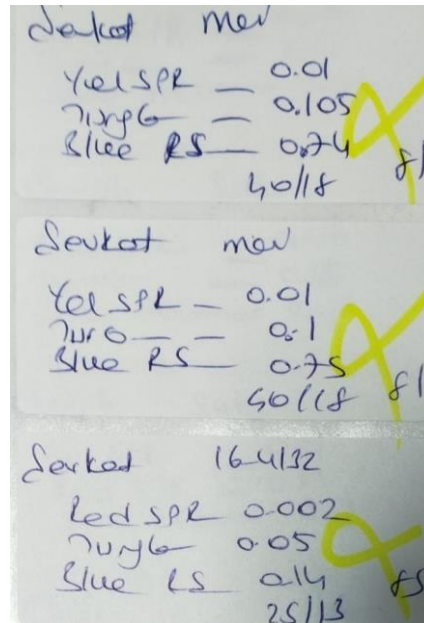


Figure 13. Recipe list.

There is a formula for the proportions of salt, soda, alkali, water in the recipe created by an expert. This is also shown in Figure 14.

BOYA	TUZ	ALKALI	SÜLFAT
0 - 0,05	10 g.	10 g/lit	22 g.
0,05 - 0,1	20 g.	10 g/lit	44 g.
0,11 - 0,3	25 g.	13 g/lit	55 g.
0,31 - 0,5	30 g.	13 g/lit	66 g.
0,51 - 1	40 g.	18 g/lit	88 g.
1,05 - 1,5	45 g.	18 g/lit	88 g.
1,51 - 2	50 g.	20 g/lit	110 g.
2,05 - 2,5	55 g.	20 g/lit	110 g.
2,51 - 3	60 g.	20 g/lit	110 g.
3,05 - 3,5	70 g.	20 g/lit	110 g.
3,51 - 4,0	75 g.	20 g/lit	110 g.
4 > ...	80 g.	20 g/lit	110 g.

"Alkali çözeltisi % 2,5'lik çözeltidir."
Visconlarda (0,5 g. - 1 g.) Alkali düş.

Figure 14. Salt, alkaline, soda proportions.

The powder state of the dye is shown in Figure 15.



Figure 15. Powder color.

10% of the dye is dissolved in 1000% erlens. After weighing 10 g of dye, the dyes are dissolved at 60 degrees. It is dissolved in soft water; it should not be hard water. Water is added to 1000 ml to complete the erlene. As can be seen in Figure 16, a navy blue (Black B crude color was made).



Figure 16. Black B crude navy-blue color.

Salt, alkali and soda are added to the tubes at the pipetting stage. Salt should definitely be added because it makes the dye stick. Pipetting was performed with an automatic pipette device. The tube is 100 cc. In Figure 17, the above-mentioned substances are added to more than one tube.



Figure 17. Pipetting device and tubes.

Since the dyes and substances added in Figure 18 are processed in more than one tube, the colors are checked on the fabric by the specialist before being taken into the machine.



Figure 18. Recipe control.

Soda is used in light colors, while alkali is used in dark colors.

- After the tubes are closed, they are taken into the machines with heat transfer oil. It rotates in the machine for about 2.5 hours.

- After dyeing, the washing process is performed. After the cotton dye rises to 70 degrees, it falls to 30 degrees in the machine. Pickling is performed by adding one or two drops of acetic acid while washing in boiling water. Because the dead dye on it is expected to be discarded. It is washed several times with soap to remove the dead dye.
- After the washing process is completed, the drying process is carried out with a survey machine. It is dried at 150 degrees; this process takes 15 minutes.

This sample study was carried out at the textile dyeing house company in Istanbul. These operations were carried out in the laboratory environment, the color approved by the customer on the laboratory side is carried out in large machines inside the factory. The process for recipe prediction is described with details.

4. TEXTILE INDUSTRY, ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND DYEING RECIPE PREDICTION

In this section, the methods in the articles examined in the literature study are briefly mentioned. The use of artificial intelligence in the textile sector is also mentioned.

Since the 1980s, computer algorithms and machine learning have aided the bulk of textile testing. The majority of testing and quality control tasks presently using image processing are handled by automation, deep learning, and neural networks (Sikka et al., 2022).

Making machines that think and act like humans is the ultimate goal of artificial intelligence. The artificial neural network (ANN) technique employs back propagation with a programmable learning rate, multiple linear regressions, and multiple linear regressions. It can assist with forecasting yarn quality, identifying fabric issues, rating fibers, and forecasting dye recipes. Its applicability to a wide range of aspects of the textile industry, from raw materials to completed textiles, has sparked a great deal of debate. This study investigates the complete dye synthesis process. ANFIS, an adaptive neuro-fuzzy reasoning system, has recently been employed to assess yarn characteristics. In order to predict useful properties of materials like air permeability, moisture content, and heat transfer rates, the textile industry also uses ANN (Sikka et al., 2022).

In the textile business, coloring or dyeing has typically been a precise process. The production of dye mixtures, the application of dye to fabric, and the inspection of dyeing all took place before computers and mechanization. Without human assistance, AI has made it possible to find flaws, match hues, and create dependable dyes. In the early 1940s, recipe prediction algorithms used the Kubelka-Munk (KM) model. According to the KM theory, colorants are categorized by their K and S absorption and scattering coefficients (Sikka et al., 2022).

A neural network-based scanner for color matching reactive colored cotton was created by Almodarresi et al. (2013). K-M color matching techniques include colorimetric and spectrophotometric matching. The former is based on Allen's method, which addresses equalization of tristimulus values under specific observational conditions. Using a neural network and scanner rather than a spectrophotometer, reactive dyed cotton sample color formulation can be predicted with more accuracy. Fabric samples were scanned using the scanner at 150, 300, and 600 dpi. A neural network was fed by the histograms of the pictures. Using 15, 30, and 60 input vectors, three output neurons, and a hidden layer with variable numbers of neurons, the input layer trained neural networks. The least mean square error for a neural network with 24 hidden neurons and 60 input vectors from 300 dpi photos was 3.319710-5.

Haji and Vadood (2021)'s polyester clothing was dyed with madder, a natural eco-friendly pigment. The following five variables were used to color 46 samples: dye concentration, dye bath pH, temperature, duration, and liquor ratio. The measured K/S values were predicted using ANN and fuzzy logic models. To increase model precision, the genetic algorithm was applied to both models. The most accurate ANN and fuzzy models could forecast K/S values with mean absolute percentage errors of 2.52 and 3.01, respectively.

An ANN-based system for printing that selects the ideal pigment mixtures were created by Golob et al. (2008). They demonstrated that by using counter propagation neural networks, it is feasible to recognize color or pigment combinations in textile printing. To teach the neural network, they used 1,430 samples of cloth printed with ten different colors.

CMR-color, an automatic color matching prediction model, enhances the capacity to extract high-dimensional characteristics from spectral data by combining three neural network models: the standard, multilayer perceptron (MLP), ResNet and convolutional neural network (CNN) (Chen et al., 2021).

Support vector machine (SVM)-based evaluation model accuracy was projected to be 98.2% (Sikka et al., 2022).

SenthilKumar (2007) proposed a feedforward neural network model using CIELAB values as input. The following findings came from a study on using neural networks to simulate CIELAB values for time dyeing parameters for any vinyl sulfone dye. The neural network built using input and output parameters has L*a*b* values for vinyl sulfone colors.

This research was conducted in order to evaluate the development of new artificial intelligence-based prescription prediction systems for textiles.

5. ARTIFICIAL INTELLIGENCE METHODS

In this section, the methods in the studies examined will be briefly mentioned technically.

5.1. Multi Layer Perceptron

The MLP model is one of the more appealing conceptual neural network models. This paradigm, in its most basic version, consists of a finite number of succeeding layers. There are a limited number of units in each tier (often called neurons). Each unit in a layer is connected to every other unit in the layer below it and vice versa. Links or synapses are the typical names for these connections. Information is transferred from one layer to the next one (thus the term feedforward). The input is contained in the top layer, which is known as the input layer. Next, there are intermediary layers known as hidden layers. The final layer, aptly referred to as the output layer, yields the final product. Figure 19 shows the structure of MLP (Pinkus, 1999).

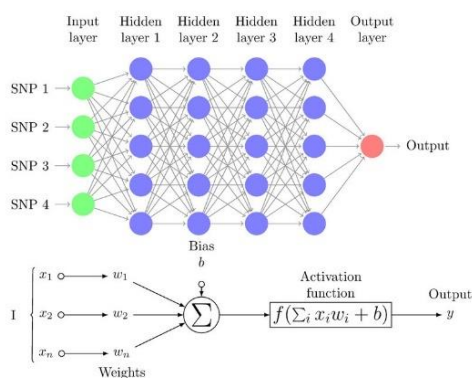


Figure 19. MLP structure.

5.2. Convolutional Neural Network

The most popular deep learning architecture is the convolutional neural network. It was influenced by the animal visual cortex. Its primary use at first was for object identification tasks, but it is now being researched for use in a wide range of other tasks, such as object tracking, position estimation, visual saliency detection, text detection and scene labeling, action recognition and many others. The 1980 invention of Neocognitron is considered as ConvNets' forerunner. LeNet, a groundbreaking innovation in convolutional neural networks, was developed in 1990 by LeCun et al. and subsequently improved. It was developed mainly to classify handwritten digits and was successful in recognizing visual patterns without any previous image processing (Aloysius and Geetha, 2017).

However, this design was unable to handle complicated issues due to a lack of training data and computational capacity. A CNN model developed by Krizhevsky et al. later in 2012 was successful in lowering the mistake rate in the ILSVRC competition. Their work has since grown to be among the most important in the field of computer vision, and many people use it to experiment with different CNN architectures. Figure 20 shows the structure of CNN (Aloysius and Geetha, 2017).

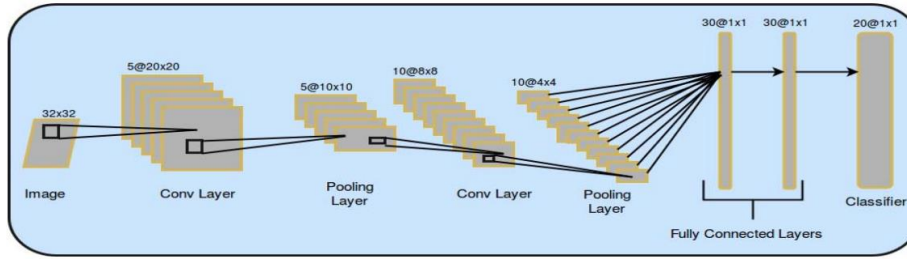


Figure 20. CNN structure.

5.3. Recurrent Neural Networks and Long Short-Term Memory

Recurrent neural networks (RNNs) are widely used in research areas that use sequential data, audio, including text and video. The RNN architecture frequently includes cyclic connections, which enable the RNN to update its current state based on prior states and new input data. On specific challenges, these networks, which are composed of typical recurrent cells (such as sigma cells), have excelled. Completely RNNs, limited Runs, and Jordan, 1986, all serve as examples (Elman, 1990; Chen & Soo, 1996). Unfortunately, when there is a sizable gap between the crucial input data, the aforementioned RNNs cannot link the relevant data. Long short-term memory was favored by Hochreiter and Schmidhuber (1997) to handle “long-term dependency” (LSTM). Figure 21 shows the structure of LSTM (Yu et al., 2019).

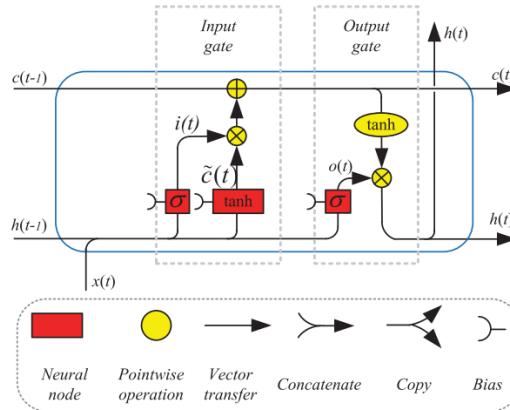


Figure 21. LSTM structure.

5.4. Support Vector Machine

By studying hundreds or thousands of reports of both fraudulent and legitimate credit card activity, a SVM is a computer method that can learn to identify fraudulent credit card activity. Using a sizable database of scanned images of handwritten zeros, ones, and other numbers, an SVM can also be taught to recognize handwritten digits. A mathematical object known as an SVM is a technique for maximizing a specific mathematical function with respect to a specific collection of data. However, it is feasible to explain the fundamental concepts underlying the SVM algorithm without having to read an equation. In fact, we contend that only four fundamental ideas—the separating hyperplane, the maximum-margin hyperplane, the soft margin, and the kernel function—need to be comprehended to completely understand the fundamentals of SVM classification. Figure 22 shows the structure of SVM (Noble, 2006).

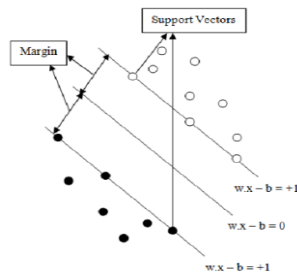


Figure 22. SVM structure.

5.5. Genetic Algorithm

An adaptable heuristic search technique built on population genetics, the genetic algorithm. John Holland developed the first DNA code at the start of the 1970s. A probabilistic search method built on the principles of natural selection and heredity is known as a genetic algorithm. The population in a genetic program is the starting set of answers. Chromosomes serve as a symbol for solutions. The population number remains constant over generations. The fitness of each chromosome is assessed after each generation, and the chromosomes for the following generation are then probabilistically chosen based on their ratings. Many of the chosen chromosomes randomly mate and have children. Random crossings and mutations occur during reproduction. Since chromosomes with high fitness values are more likely to be chosen, the average fitness value of the chromosomes in the current generation may be higher than that of the chromosomes in the preceding generation. Up until the last requirement is met, the evolutionary process continues looping back and forth. Chromosomes or sequences are common terms for the products of genetic processes. Figure 23 shows the structure of GA (Kumar et al., 2010).

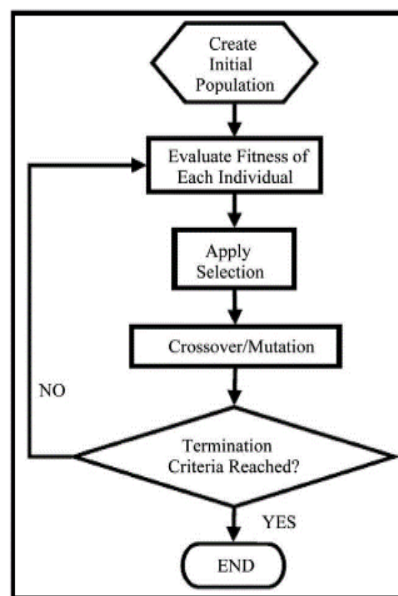


Figure 23. GA structure.

5.6. Fuzzy Systems

Since fuzzy systems have been used in commercial applications, developers are aware that it is not always simple to build a successful fuzzy system. Finding the right membership functions and fuzzy rules can be a time-consuming, trial-and-error procedure. As a result, the notion of using learning methods with fuzzy systems was regarded as an early method for creating so-called adaptive or self-organizing fuzzy controllers. These flexible models frequently employ knowledge-based techniques. Neural networks, however, offer yet another option for discovering ambiguous system parameters. Because of their ability to learn, neural networks are a good candidate for pairing with fuzzy systems to automate or support the process of creating a fuzzy system for a particular job. Figure 24 shows the structure of Fuzzy system (Nauck, 1997).

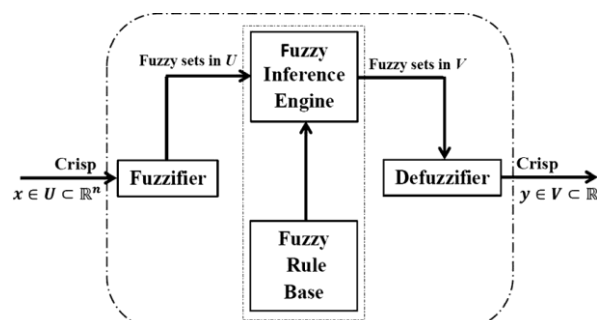


Figure 24. Fuzzy system structure.

6. COLOR SPACES

In this section, color theory and color spaces are mentioned.

6.1. Color Theory

When an object is observed in the presence of a specific light source, the reflected wavelength of the object has a physio-psychometric influence on the observer’s brain. The term “color theory” referred to a standardized scientific method with a specific mathematical or empirical formula with arrangements of incidence of light/standard illuminant for absorption and reflection of the color on and from the object, followed by detection, followed by measurement of color value specific reflectance, or any other quantified values to record and communicate color information for reproducibility and matching (Samanta, 2022).

Color is a feature of visual perception that can include any combination of chromatic and achromatic content, according to the CIE definition. Both chromatic and achromatic color names, such as white, gray, or black, can be used to describe this property. Chromatic color names include pink, brown, yellow, orange, green, red, blue, and purple. Additionally, it can be described by combining these titles. The structure of the color detection screen with RGB is shown (Samanta, 2022).



Figure 25. Color detection display with RGB.

The process of measuring and evaluating color value in any measurable terms is known as colorimetry. It allows us to translate the physio-psychological perception of color that is experienced by our eyes into a real physical measurement. As a result, the hue of any object can be thought of as a physiological and psychological illusion caused by radiation or visible light that has been deflected from a material or object after light has struck it (Samanta, 2022).

6.2. CIE 1931 Theory of Colour

The Commission Internationale de l'Éclairage (CIE) has suggested $x(l)$, $y(l)$, and $z(l)$ for [360 nm, 830 nm] in 1 nm steps for color discrimination based on generally accepted tristimulus values. By combining the RGB’s three fixed primary colors additively, a variety of color stimuli can be precisely matched in color across a wide range of observational conditions. These additive mixtures combine linearly, symmetrically, and transitively and can be expressed as stimuli of any hue detected under standard illumination under standard detection using three coordinates known as Tristimulus values. Figure 26 shows the calculation of Tristimulus values. (X, Y, and Z) (Samanta, 2022).

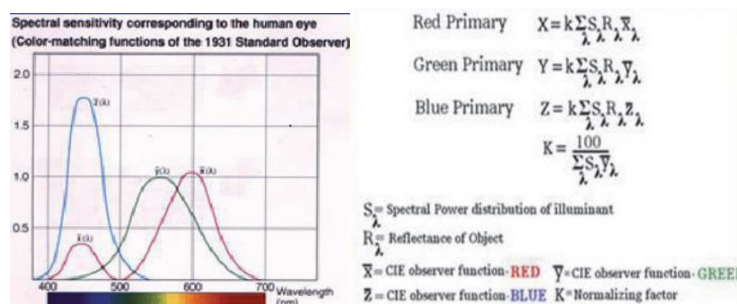


Figure 26. RGB primary stimuli’s effect on the human eye’s spectral sensitivity, and the actual measurement of an object’s reflectance and associated Tristimulus values that follow.

6.3. CIE 1976 Theory of Colour

L^* , a^* , and b^* values should be used to evaluate color differences between two samples of the same or similar textiles, according to the 1976 CIE $L^*a^*b^*$ color space. The 1976 CIE $L^*a^*b^*$ color space diagram depicts the total color differences value by E or E^* . The 1976 CIE scale of redness ($+a^*$)/greenness is represented by $-a^*$, the 1976 CIE scale of yellowness ($+b^*$)/blueness is represented by $-b^*$. These scales resemble the Munsell Value scale of lightness dispersion more or less (Samanta, 2022).

Devices called spectrophotometers are used to detect an object's color. To determine the color that shows in relation to an object's reflection, these devices frequently employ a recognized technique. Since we use x to depict colors using vector points in three-dimensional space, what we refer to as the color space in mathematics is essentially y and z for position coordinates. Specific values of how red, green, and blue it is in relation to a reference location are shown here as coordinates. Figure 27 shows the structure of the CIELAB space. (Which may differ between color spaces) (Zhu, 2022).

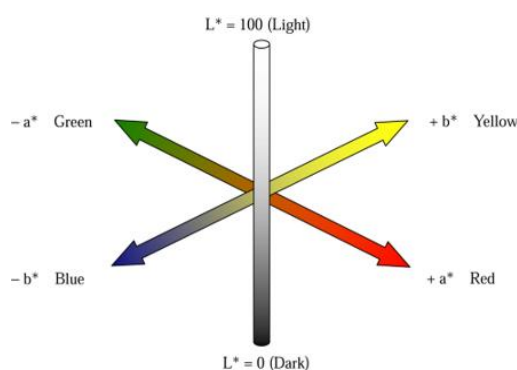


Figure 27. CIE $L^*a^*b^*$ color space.

Commonly, standard color spaces include the CIELAB color space or CIEGYZ color space, which were designed to encompass almost all colors that can normally be observed as humans (Zhu, 2022).

6.4. Properties of the CIE $L^*a^*b^*$ color space

CIELAB Color Space: L^* , a^* , b^* , c^* , h values are the main parameters used to define colors in the CIELAB color system (CIE 1931 XYZ Color Space).

L^* : Luminance value. It is the perpendicular axis in color space. It is 0° for black and 100° for white. This varies between the two values the L^* value increases, the brightness of the color increases (CIE 1931 XYZ Color Space).

a^* and b^* : Chromatic coordinates. In the CIELAB color space, $+a^*$ indicates the red direction, $-a^*$ indicates the green, $+b^*$ indicates the yellow, $-b^*$ indicates the blue (CIE 1931 XYZ Color Space).

When the literature was scanned for recipe estimation, it was seen that this color space was used.

7. SPECTROPHOTOMETER AND HYPERSPECTRAL CAMERA

The sample's reflectance at each wavelength is measured independently by the reflectance spectrophotometer. For color measurements, it logs reflectance in the 400–700 nm visible spectral area at the necessary intervals of 5 nm, 10 nm, and 20 nm. For textile samples, measurements have been made in the spectral region from 400 to 700 nm at 20 nm intervals (Samanta, 2018).

7.1. Calibration of Device

In order to get the instrument back in working order, calibration is carried out. Between maximum reflectance (100% white) and maximum absorption (100% black), color (Visible light-400nm-700nm) is measured. The device scans a standard white tile and a standard black tile in order to configure these parameters (Samanta, 2018).

An arriving batch can be compared to your current criteria in quality control. Results that follow can be observed in terms of tone and strength. The samples are thoroughly examined in terms of their hue, lightness, saturation,

and general placement in the color space index. You can analyze the measured samples using graphs and statistics thanks to quality control (Samanta, 2018).

7.2. Hyperspectral Camera

Due to new developments in digital imaging technology, spectral imaging technology is now acknowledged as a unique method of color matching and evaluation. To accurately evaluate the interior and external properties of samples, spectral and imaging technology are combined in a hyperspectral imaging system (HIS). As a result, information in three dimensions is gathered about the observed samples, such as their spatial location, spectral power, and frequency. The remote food monitoring, sensing, and medical device sectors are the main users of this (Zhang et al., 2021).

Zhang et al., (2021) used an HIS for the first time to quantify the multi-colors of printed fabric in 2019. The technology helps to correct uneven or multicolored measurements and can correctly measure the colors and spectral characteristics of colorful textile products. The HIS system does have some disadvantages, though, such as data redundancy, enormous storage space consumption, and a strong correlation between band spacing, which are all caused by how much data it collects. As a result, good spectral matching results cannot be achieved when processing hyperspectral data using the traditional spectral matching algorithm. Deep learning technology has quickly developed in recent years, leading to the creation of numerous data-processing methods. Processing spectrum data using deep learning-based algorithms is one such effective strategy.

Salazar-Vazquez and Mendez-Vazquez (2020) used modern high-resolution cameras, circuitry, and optics in 2020 to develop a dependable, affordable, and straightforward HSI device. This tool could be used to evaluate the feasibility of developing new apps on a tight budget and to evaluate new hyperspectral image processing algorithms. It can detect wavelengths between 400 and 1052 nm, generate up to 315 distinct wavebands, and have a spectral precision of up to 2.0698 nm. It can weigh up to 300 g. Its spatial resolution of 116 110 pixels is useful for many uses. Furthermore, it has shown excellent spectrum precision in both controlled and natural light settings while costing only 2% as much as commercial HSI devices with equivalent capabilities.

The suggested HSI system contains a framework to create the proposed HSI from scratch, in contrast to similar studies. The processing speed and complexity of creating an HSI device are both reduced by this design. It includes every 3D model required, a calibration technique, image acquisition software, and the construction and calibration process for the suggested HSI device. As a result, the suggested HSI system is lightweight, transportable, and reusable (Salazar-Vazquez and Mendez-Vazquez, 2020).

8. COMPARISON OF DYEING RECIPE PREDICTION STUDIES

About 20 articles were examined comparatively in this section. The latest methods and datasets related to recipe prediction are indicated. In the literature study, a publication was shared about the processes in large boilers other than laboratory processes.

Table 2. Latest methods and datasets.

Authors	Year	Method
Sagirlibas	2009	Fuzzy logic and ANN model were used to predict the description of the color. The data groups used for these estimates were formed using the CIE system (Lab, Lch, XYZ) and reflection values. The color description was calculated using various programs created in matlab, including fuzzy logic, feed-forward multilayer sensor neural network, and radial basic function neural network (RBF NN), and the results were compared extensively.
Onar	2011	The Kubelka Munk method and ANN model were applied and compared. 342 training data 23 test data were used. The study was conducted in MATLAB. The ANN models have shown better results.
Zhu	2022	A three-layer neural network model can be used to forecast the hue of a cotton fabric once it has dried. Several models have been developed in line with the clamping pressure, with the models' expected values for $L^*a^*b^*$ in the dry state serving as their outputs and the reflection values of $L^*a^*b^*$ in the wet state serving as their inputs.
Qin and Zhang	2021	The multiple gradient boosting regression tree model (GBRT) was used in this investigation. With the data collected for three different color spaces, it has been trained and evaluated. It uses the D65 light source, which contains 810 data.
Westland	1998	123 educational and 40 test data were used. A MLP model was used.
Kandi	2007	A novel approach to predicting color recipes using genetic algorithms is put forth. Based on its fitness function, this approach can perform both spectrophotometric and colorimetric color matching.
Chaouch et al.	2020	A fresh approach to utilize a genetic algorithm to tackle the color recipe prediction problem is put forth. 100 data sets were used.

Chaouch et al.	2019	Ant colony optimization is used to introduce a novel method for color recipe prediction. To dye, samples of fabrics made entirely of cotton were utilized.
Li et al.	2022	This paper uses a novel feature-weighted support vector regression and particle swarm optimization method for fabric dyeing recipe prediction. The experiment used dyeing data based on two distinct materials (cotton and taffeta).
Sennaroglu et al.	2014	An ANN technique was employed in this study to forecast the color recipes that would match the reference colors of knitted fabrics made entirely of acrylic. A multilayer sensor network makes up the created neural network. The intended outputs are dye concentrations, and the inputs are spectral luminance factors at wavelengths ranging from 400 nm to 700 nm at 10 nm intervals.
Zhang et al.	2021	A deep learning algorithm and hyperspectral color measurement-based dyeing recipe prediction model for cotton fabric have been suggested. There were 363 data used in total. Results from the suggested model and the Datacolor 650 spectrophotometer were compared.
Tu et al.	2022	For this categorization, a straightforward but successful methodology is presented in this study. To identify categories of fabrics with comparable coloring characteristics for a particular combination of dyes, the method employs the classic K-Means clustering analysis. It has been utilized as a stage in the preparation of data, and an analysis of the literature reveals that it is one of the significant researches. 28 different types of fabrics have been found to be grouped into 8 groups based on their colour characteristics.
Yu et al.	2021	Three single reactive dye databases were made by dyeing various cotton knitted materials and a number of dyeing strategies were established. The color parameter L^* , a^* , and b^* values of dyed materials were used as model inputs, and a model based on PSO-LSSVM was also built, which uses dye concentration as a model output. It was discovered that the estimated values of the PSO-LSSVM models for the color parameters L^* , a^* , and b^* of the dyed fabrics at the dye concentration agreed with the actual measured values of the tested cotton fibers.
Chen et al.	2021	This study provides an automated color matching prediction model, CMR-Color, by merging three neural network models, including conventional CNN, MLP, and ResNet, in order to improve the ability to derive high-dimensional features from spectral data. The 72,132 recipe data originate from a well-known company mentioned in the textiles industry.
Chaouch et al.	2022	This article presented and compared evolutionary algorithms for color recipe prediction, in particular ant colony and genetic algorithms. In this study, three reactive dyes (100% cotton) were used for dyeing woven fabrics.
Ku et al.	2020	A decision support system for scheduling dyeing machines was designed to increase intelligent production and dismantle information silos. It did this by using a framework as a systematic technique to gather, identify, and analyze relevant processes and decisions for an organization. Installation time, particularly for textile dyeing processes, is order-dependent, and installation for tank cleaning is needed for goods of various types and colors. The outcomes showed that Industry 3.5 and the suggested approach were applicable in real-world situations. The designed method has been put into practice in a textile business in Taiwan.

9. CONCLUSION

It has been seen that creating a color recipe for computer-aided fabric dyeing gives better results with the help of a literature study. ANNs have been tried for computer-aided color recipe and good results have been obtained. Recently, the use of measurements with a hyperspectral camera and the elimination of dependence on a spectrophotometer have shown good results for researchers. It has also shown better results with the use of LSTM models. In the studies conducted, it has been seen that in real life, it is an optimization problem for us to extract higher quality recipes from cheaper dyes due to the restrictions of the company. In addition to the literature study, the process of creating a recipe at a textile dyeing company in Istanbul was carried out and explained step by step.

REFERENCES

- Almodarresi, E. S. Y., Mokhtari, J., Almodarresi, S. M. T., Nouri, M., & Nateri, A. S. (2013). A scanner based neural network technique for color matching of dyed cotton with reactive dye. *Fibers and Polymers*, 14, 1196-1202.
- Aloysius, N., & Geetha, M. (2017, April). A review on deep convolutional neural networks. In *2017 International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSPP)* (pp. 0588-0592). IEEE.
- Chaouch, S., Moussa, A., Ben Marzoug, I., & Ladhari, N. (2019). Colour recipe prediction using ant colony algorithm: principle of resolution and analysis of performances. *Coloration Technology*, 135(5), 349-360.
- Chaouch, S., Moussa, A., Ben Marzoug, I., & Ladhari, N. (2020). Application of genetic algorithm to color recipe formulation using reactive and direct dyestuffs mixtures. *Color Research & Application*, 45(5), 896-910.
- Chaouch, S., Moussa, A., Ben Marzoug, I., & Ladhari, N. (2022). Study of CI Reactive Yellow 145, CI Reactive Red 238 and CI Reactive Blue 235 dyestuffs in order to use them in color formulation. Part 3: Application of ant colony and genetic algorithms for color recipe prediction. *The Journal of the Textile Institute*, 1-12.

Chen, M., Tsang, H. S., Tsang, K. T., & Hao, T. (2021). An Hybrid Model CMR-Color of Automatic Color Matching Prediction for Textiles Dyeing and Printing. In *Neural Computing for Advanced Applications: Second International Conference*, Guangzhou, China, August 27-30, 2021, Proceedings 2 (pp. 603-618). Springer Singapore.

Chen, T. B., & Soo, V. W. (1996, June). A comparative study of recurrent neural network architectures on learning temporal sequences. In *Proceedings of International Conference on Neural Networks (ICNN'96)* (Vol. 4, pp. 1945-1950). IEEE.

CIE 1931 XYZ Color Space, <https://acikders.ankara.edu.tr>

Elman, J. L. (1990). Finding structure in time. *Cognitive science*, 14(2), 179-211.

Grishanov, S. (2011). Structure and properties of textile materials. In *Handbook of textile and industrial dyeing* (pp. 28-63). Woodhead Publishing.

Golob, D., Osterman, D. P., & Zupan, J. (2008). Determination of pigment combinations for textile printing using artificial neural networks. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 16(3), 68.

Haji, A., & Vadood, M. (2021). Environmentally benign dyeing of polyester fabric with madder: modelling by artificial neural network and fuzzy logic optimized by genetic algorithm. *Fibers and Polymers*, 22, 3351-3357.

Kandi, S. G. (2007). Color recipe prediction by genetic algorithm. *Dyes and Pigments*, 74(3), 677-683.

Krizhevsky, A., Sutskever, I., & Hinton, G. E. (2017). Imagenet classification with deep convolutional neural networks. *Communications of the ACM*, 60(6), 84-90.

Ku, C. C., Chien, C. F., & Ma, K. T. (2020). Digital transformation to empower smart production for Industry 3.5 and an empirical study for textile dyeing. *Computers & Industrial Engineering*, 142, 106297.

Kumar, M., Husain, D., Upreti, N., & Gupta, D. (2010). Genetic algorithm: Review and application. *Available at SSRN 3529843*.

Li, F., Chen, C., & Mao, Z. (2022). A novel approach for recipe prediction of fabric dyeing based on feature-weighted support vector regression and particle swarm optimisation. *Coloration Technology*, 138(5), 495-508.

Ministry of National Education. *Tekstil Teknolojisi, Hedef Rengi Bulmak*, 2011.

Moussa, A. (2021). Textile color formulation using linear programming based on Kubelka-Munk and Duncan theories. *Color Research & Application*, 46(5), 1046-1056.

Nauck, D., & Kruse, R. (1997). A neuro-fuzzy method to learn fuzzy classification rules from data. *Fuzzy sets and Systems*, 89(3), 277-288.

Noble, W. S. (2006). What is a support vector machine?. *Nature Biotechnology*, 24(12), 1565-1567.

Onar, N. (2011). Renk Recetesi Tahminlemesinde Yapay Sinir Aginin Kullanimi. *Tekstil ve Muhendis*, 18(81), 12-21.

Pinkus, A. (1999). Approximation theory of the MLP model in neural networks. *Acta Numerica*, 8, 143-195.

Qin, X., & Zhang, X. J. (2021). An industrial dyeing recipe recommendation system for textile fabrics based on data-mining and modular architecture design. *IEEE Access*, 9, 136105-136110.

Sagirlibas, M. V. (2009). *Color recipe prediction with neural networks* (Doctoral dissertation, DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü).

Salazar-Vazquez, J., & Mendez-Vazquez, A. (2020). A plug-and-play Hyperspectral Imaging Sensor using low-cost equipment. *HardwareX*, 7, e00087.

Samanta, P. (2022). Basic Principles of Colour Measurement and Colour Matching of Textiles and Apparels. *Colorimetry*, 105.

Samanta, P. (2018). Fundamentals and Applications of Computer-Aided Colour Match Prediction (CCMP) System. *Trends in Textile & Fashion Design 2 (5)-2018*. LTTFD. MS. ID. 000148. DOI: 10.32474/LTTFD. 2018.02. 000148.

Sennaroglu, B., Öner, E., & Senvar, Ö. (2014). Colour recipe prediction in dyeing acrylic fabrics with fluorescent dyes using artificial neural network/Stabilirea retetei de vopsire a materialelor acrilice cu coloranti fluorescenti, folosind o retea neurala artificiala/Colour recipe prediction in dyeing acrylic fabrics with fluorescent dyes, using artificial neural network. *Industria Textila*, 65(1), 22.

Senthilkumar, M. (2007). Modelling of CIELAB values in vinyl sulphone dye application using feed-forward neural networks. *Dyes and Pigments*, 75(2), 356-361.

Sikka, M. P., Sarkar, A., & Garg, S. (2022). Artificial intelligence (AI) in textile industry operational modernization. *Research Journal of Textile and Apparel*.

Textile Global Market Report, 2023.

Textiles and Clothing Industry in Turkey, Statistics & Facts, 2022.

Tu, Z., Yin, Y., & Qin, X. (2022). Towards Better Data Pre-Processing for Building Recipe Recommendation Systems from Industrial Fabric Dyeing Manufacturing Records: Categorization of Coloration Properties for a Dye Combination on Different Fabrics. In *Design Studies and Intelligence Engineering* (pp. 17-23). IOS Press.

Uyanik, S., & Celikel, D. C. (2019). Türk Tekstil Endüstrisi Genel Durumu. *Teknik Bilimler Dergisi*, 9(1), 32-41.

Westland, S. (1998). Artificial neural networks and colour recipe prediction. In *Proceedings of the International Conference and Exhibition: Colour Science* (pp. 225-233).

Yu, C., Cao, W., Liu, Y., Shi, K., & Ning, J. (2021). Evaluation of a novel computer dye recipe prediction method based on the pso-lssvm models and single reactive dye database. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 218, 104430.

Yu, Y., Si, X., Hu, C., & Zhang, J. (2019). A review of recurrent neural networks: LSTM cells and network architectures. *Neural Computation*, 31(7), 1235-1270.

Zhang, J., Zhang, X., Wu, J., & Xiao, C. (2021). Dyeing recipe prediction of cotton fabric based on hyperspectral colour measurement and an improved recurrent neural network. *Coloration Technology*, 137(2), 166-180.

Zhu, H. (2022). *A Neural Network Model to Predict the Color of Dry Cotton Fabric from a Wet State*. North Carolina State University.


ACKNOWLEDGEMENT and DECLARATIONS

The authors contributed equally to the study. There are no potential conflicts of interest in this study. Research and publication ethics were complied with in the study.

Not: This publication was prepared from the master's thesis of İsmet CAN ŞAHİN, in consultation with Assoc. Prof. Dr. Can EYÜPOĞLU at the National Defence University Atatürk Institute of Strategic Studies and Graduate Institute, Computer Engineering Master's Program with Thesis.

Araştırma Makalesi

GÖRÜNTÜLER İÇİN ALFA KANALINI MASKELEYEREK VERİ GİZLEME TEKNİĞİ VE UYGULAMASI

Mehmet ŞANVEREN[†], Mustafa Cem KASAPBAŞI^{††}[†] İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İstanbul, Türkiye^{††} İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İstanbul, Türkiye**mehmetsanveren1029@gmail.com, mckasapbasi@ticaret.edu.tr** 0009-0002-6920-9390, 0000-0001-6444-6659**Atıf/Citation:** ŞANVEREN, M., KASAPBAŞI, M. C., (2023). Görüntüler İçin Alfa Kanalını Maskeleyerek Veri Gizleme Tekniği ve Uygulaması, Journal of Technology and Applied Sciences 6(2) s.21-35, DOI: 10.56809/icujtas.1328818

ÖZ

Dijital görüntüler günümüzde büyük bir değer taşımaktadır. İnternetin yaşam kaynaklarımızı desteklediği hızlı iletişim çağında iletişim oldukça önemli hale gelmiştir. Bu bağlamda, veri iletişimi ve transferi konularında birtakım çalışmalar yapılmıştır. Gerçekleştirilen saklı veri transferler tekniklerine steganografi adı verilir. Steganografi, gizli mesajların çeşitli teknikler kullanılarak taşıyıcı nesnelere saklandığı bir yöntemdir. Bu taşıyıcı nesnelere, görüntü, ses, video veya metin gibi dosya türlerinden oluşabilir ve içerisinde gizli mesajlar barındırabilir. Eğer gizli mesaj, taşıyıcı nesne üzerinde görsel olarak fark edilmeyecek bir şekilde saklanıyorsa, bu yöntemle görüntü steganografisi denir. Bu çalışmada, görüntüler üzerindeki veri gizleme teknikleri üzerinde durulmuş ve yeni bir uygulama geliştirilmiştir. C# programlama dili kullanılarak kodlama yapılmıştır. En Düşük Değerlikli bit (LSB-Least Significant Bit) tekniği, RGB kanallarının yanı sıra alfa kanalını da (R, G, B, A) kullanmaktadır. Çalışmanın yapısının ve kalite başarısının testini gerçekleştirmek amacıyla MATLAB ortamında kodlama yapılarak, Tepe Sinyal Gürültü Oranı (PSNR-Peak Signal to Noise Ratio), Ortalama Karesel Hata (MSE-Mean Squared Error), Yapısal Benzerlik İndeksi (SSIM-Structural Similarity Index), ve entropi testleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, insan gözüyle fark edilemeyen bir durumu ve kalite ölçümlerinin literatür değerlerine uygun şekilde başarılı olduğunu göstermektedir. Bu çalışma, arka planı şeffaf olan resimler için başarılı bir şekilde kullanılacak bir teknik sunmaktadır. Mahremiyet ve gizli iletişim konularında alınan önlemler göz önüne alındığında, bu çalışmanın görsel steganografiye katkı sağlayarak arka planı şeffaf olan resimlerde yaşanan problemlere çözüm getireceği düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: LSB, Steganografi, Veri Gizleme, Görsel Steganografi

DATA HIDING TECHNIQUE AND ITS APPLICATION BY MASKING THE ALPHA CHANNEL FOR IMAGES

ABSTRACT

Digital images are of great value today. Communication has become very important in the age of fast communication, when the Internet supports our life resources. In this context, a number of studies have been conducted on data communication and transfer issues. The stored data transfer techniques performed are called steganography. Steganography is a method by which hidden messages are stored in carrier objects using various techniques. These carrier objects can consist of file types such as images, audio, video, or text, and may contain hidden messages inside. If the hidden message is stored on the carrier object in such a way that it is not visually noticeable, this method is called image steganography. In this study, data hiding techniques on images were focused on and a new application was developed.

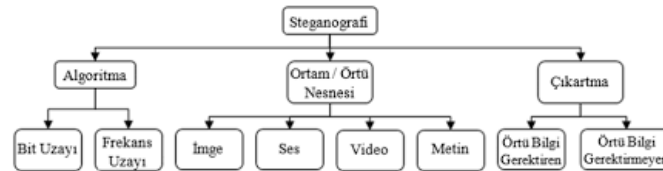
Geliş/Received : 17.07.2023
Gözden Geçirme/Revised : 25.07.2023
Kabul/Accepted : 28.07.2023

Coding has been done using the C# programming language. The Least Significant bit (LSB) technique uses the alpha channel (R, G, B, A) as well as the RGB channels. In order to test the structure and quality achievement of the study, PSNR (Peak Signal to Noise Ratio), MSE (Mean Squared Error), SSIM (Structural Similarity Index), and entropy tests were performed by coding in MATLAB environment. When the results obtained are evaluated, it shows a condition that cannot be noticed by human eyes and that the quality measurements are successful in accordance with the literature values. This study presents a technique that can be successfully used for paintings with a transparent background. Considering the measures taken on the issues of privacy and confidential communication, it is thought that this study will provide solutions to the problems experienced in pictures with transparent background by contributing to visual steganography.

Keywords: LSB, Steganography, Data Hiding, Image Steganography

1. GİRİŞ

Steganografi, gizli bir mesajı bir örtü nesnesine saklayarak karşı tarafa iletme uygulamasıdır. Başka bir ifade ile steganografi, bir mesajın herhangi bir dosya içerisine gömülerek karşı taraftaki iletilen kişinin veya dışarıdan erişim sağlamaya çalışan kişinin anlamayacağı şekilde veri iletişim yöntemidir. Steganografi bilgi gizleme yöntemlerinin önemli bir dalı olarak ifade edilir. Tarihte yaşamış olan bir çok kavim yaşıntıları boyunca, iletişim için güvercinleri kullanmak, kadınların küpelerine nakış işlemek ve harf noktalarının vuruşlarını değiştirmek gibi farklı bir çok teknik kullanmıştır. "Steganografi" kelimesinin mucidi Johannes Trithemius'dir (Syndics of Cambridge University Library). Stego görüntünün görüntü kalitesi, kontrol sonucu, stego görüntü üretilene kadar asla bilinmez. Aslında steganografinin temeli, iletişimle başlamıştır. Çünkü doğadaki var olan her canlı tıpkı insanlar gibi iletişim kurarlar. Steganografi insanlar veya nesneler arasındaki gerçekleşen iletişimi sadece iletişim kuran kişilerin anlayacağı hale bürünmesi için gerekli ortamı hazırlamaktır. Steganografi ile ilgili tarihteki örneklere bakacak olursak, belki de en iyi bilinen yöntemi geçmiş dönemlerde kullanılan görünmez ismini verdikleri mürekkeptir. Tarih boyunca insanlar birbirleri ile iletişim kurabilmek adına sayısız yöntemler denemiş ve bu yöntemlerde sirke, bal, şeker gibi sıvılarda kullanmışlardır. Bazı dönemlerde kölelere dövme yapılarak iletişim sağlanmıştır. İnsanoğlu var olduğundan beri iletişim ihtiyacı hissetmiştir. Günümüzde ultra mega boyutlarda teknikler ve algoritmalar geliştirilmiştir. Bir çok farklı yazılım dilinde stego araçları geliştirilebilir ve bu teknikler ile resimler farklı algoritmalara dahil edilerek saklanabilmektedir. Veri gizleme, temel bir ifadeyle Steganografi (Kadhim vd., 2019) ve Filigran (Petitokolas vd., 1999, Wan vd., 2022). olmak üzere ikiye ayrılır.



Şekil 1. Steganografi Algoritması

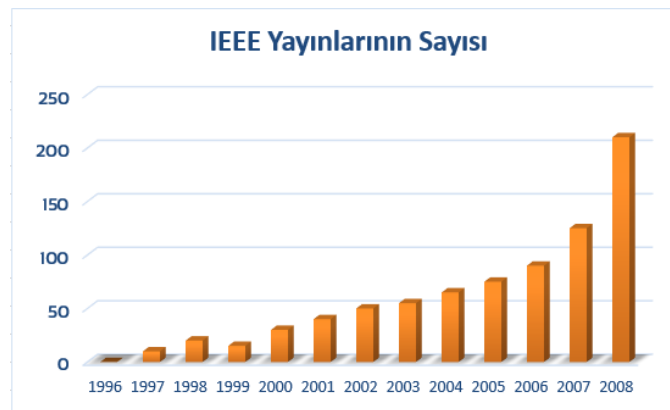
Steganografi, 1978'de Viktor Korchnoi ile Anatoly Karpov arasında gerçekleşen Dünya Satranç Şampiyonluğu maçında tartışma konusu haline gelmiştir. (Jessica, 2007). Bir maçta, Karpov'un yardımcıları ona yoğunlu bir tepsi uzattı. Bu, oyun sırasında oyuncu ile takımı arasındaki iletişimi yasaklayan kurallara aykırı bir davranıştı. Korchnoi'nin heyetinin başkanı Petra Leeuwerik, Karpov'un ekibinin gizli mesajlar iletildiğini iddia ederek hemen itiraz etmiştir. Örneğin, mor bir yoğurt, Karpov'un beraberlik teklif etmesi gerektiği anlamına gelebilirken, dilimlenmiş bir mango, oyuncunun beraberliği reddetmesi gerektiğini ifade edebilirdi. Yemek servisi zamanlaması da ek mesajların iletilmesi için kullanılabilirdi (Gonzalez, 2007).

Bu çalışmada, LSB algoritmalarına katkıda bulunmak amacıyla PNG görüntü formatları üzerinde arka planı şeffaf olan resimler için yeni bir algoritma geliştirilmiştir. Geliştirilen bu algoritma arka planı şeffaf olan PNG görüntüler için alfa kanalı üzerinde maskeleyerek, steganografi tekniklerinden en düşük değerlikli bit (LSB), tekniğinin başarılı bir şekilde kullanılabilirdiğini göstermektedir.

Geliştirilen algoritmanın başarısını test etmek amacıyla performans metrikleri ve analizleri yapıldığında teorik değerler elde edilmiştir. Bölüm 3'te dijital görüntülerden ve R,G,B,A kanallarından bahsedilmiştir. Geliştirilen algoritmanın adımlarına yer verilmiştir. Tartışma kısmında, literatürde yer alan ve önerilen algoritmada kullanılan tekniğin birebir aynısı olmaması sebebiyle en yakın çalışmalar baz alınmış, bu çalışmaların karşılaştırılması yapılmıştır. Son bölümde ise sonuçlardan ve gelecekte yapılacak olan çalışmalardan bahsedilmiştir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Dijital görüntü, piksel adı verilen küçük resim elemanlarının matematiksel değerlerle temsil edildiği bir 2B veya 3B görsel nesnelere oluşmaktadır. Her piksel, genellikle bir matris veya dizi içinde konumlandırılır ve bir gri tonlama veya renk değeriyle ilişkilendirilir. Renkli görüntülerde yaygın olarak kullanılan renk modeli RGB'dir. RGB, kırmızı (Red), yeşil (Green) ve mavi (Blue) bileşenlerin birleşiminden oluşan bir renk uzayıdır. Her pikselin RGB değeri, bu üç bileşenin yoğunluklarını belirtir. Genellikle 8 bit kullanılarak, her bileşen 0 ile 255 arasında bir sayıyla temsil edilir. Örneğin, beyaz renk (255, 255, 255) olarak temsil edilirken, siyah renk (0, 0, 0) olarak temsil edilir. Bunun yanı sıra, gri tonlamalı görüntüler sadece parlaklık değerini içerir. Gri tonlamalı bir pikselin parlaklık değeri genellikle 0 ile 255 arasında bir sayıdır, 0 siyahı temsil ederken 255 beyazı temsil eder. Dijital görüntüler, çeşitli işlemlere tabi tutulabilir. Örneğin, filtreleme, kesme, yeniden boyutlandırma, dönüşüm veya kompresyon gibi işlemler dijital görüntü işlemeyle gerçekleştirilebilir. Görüntüler ayrıca farklı dosya formatlarında (JPEG, PNG, GIF, BMP vb.) saklanabilir ve iletişim için kullanılabilir. Dijital görüntü teknolojisi, bilgisayarlı görüntü, video oyunları, medya yayıncılığı, sinema, tıbbi görüntüleme ve daha birçok alanda geniş bir uygulama alanına sahiptir (Johnson, 2008). Görmüş olduğumuz renkli dijital görüntüler bir takım piksellerden ve bu pikselleri temsil eden bir takım kodların birleşmesi ile meydana gelmektedir. Oluşan bu renkleri tanımlamak için kullanılan matematiksel modellere ve bütün renkleri temsil edecek şekilde oluşturulmasına genel olarak renk modeli denilmektedir (Yılmaz, 2002). Dijital görüntüler genellikle raster, palet, dönüşüm ve vektör olmak üzere dört temel biçimde temsil edilir. Günümüzde doğal görüntülerin en yaygın temsili olan popüler transform-domain formatı PNG ve JPEG'tir. Steganografi alanında gerçekleştirilen çalışmaların yıllara göre istatistikleri Şekil 2, Şekil 3 ve Şekil 4'de sunulmuştur.



Şekil 2. Steganografi Anahtar Kelimeleri İçeren Yayınların Sayısı

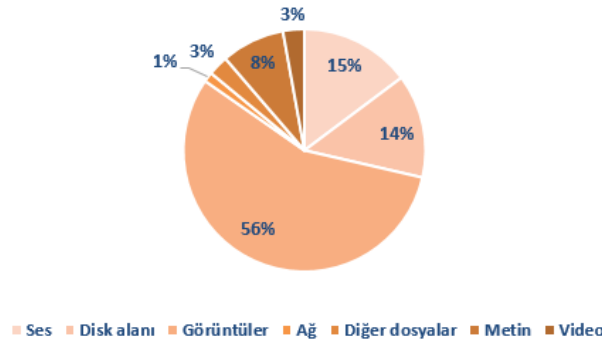
Şekil 2'de her yıl yayımlanan ve "steganografi" veya "steganaliz" anahtar kelimelerini içeren makalelerin sayısı, alanın büyümesine tanıklık etmektedir (Jessica, 2007,a).



Şekil 3. Stego Araçlarının Sayısı

Şekil 3'de Dijital ortamda ve metinde veri saklayabilen yeni çıkan uygulamaların veya mevcut programların yeni sürümlerinin sayısını göstermektedir. (Jessica, 2007,b).

Yazılım Uygulamalarının Sayısı



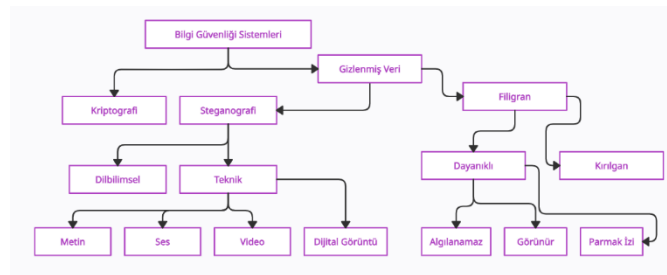
Şekil 4. Steganografi Yazılım Uygulamalarının Sayısı

Şekil 4'de Haziran 2008 itibariyle elektronik ortamda veri saklayabilen steganografik yazılım uygulamalarının sayısı (Jessica, 2007,c).

Görüldüğü gibi steganografi kelimesini içeren yayınlar ve araçlar 90'lı yıllardan 2008 yılına kadar ciddi bir artış göstermiş, sonrasında ise günümüze kadar neredeyse sayılamayacak kadar çok artmıştır. Steganografi bir çok alanda veri gizleme amacıyla kullanılır. Watermarking, dijital içeriklere benzersiz bir kimlik veya sahiplik bilgisi eklemek için kullanılan bir yöntemdir. Watermarking, genellikle telif hakkı koruması veya sahtecilik tespiti gibi amaçlarla kullanılır. Watermark, içeriğin üzerine eklenen veya gömülen bir imza, logo veya metin şeklinde olabilir.

Watermark, genellikle açıkça görünür veya algılanabilir bir şekilde eklenir ve içeriğin sahipliğini veya orijinalliğini göstermek için kullanılır. Steganografi ise, gizli mesajların başka verilerin içine saklandığı bir yöntemdir. Steganografi, mesajın varlığını gizlemek için medya dosyalarını (görüntü, ses, metin) kullanır. Mesaj, taşıyıcı veriye gömülerek veya üzerine eklenerek saklanır ve genellikle insan algısı için göze veya kulağa çarpmayan bir şekilde gerçekleştirilir. Steganografi, mesajın gizliliğini sağlamak ve iletişimdeki taraflar arasında güvenli bir şekilde bilgi paylaşımı yapmak için kullanılır (Cox I., Miller J. 2002).

Görüntü işleme konferansı (ICIP) ve multimedya ve güvenlik çalıştayını (ACM) 1996'da Cambridge'de ilk Bilgi gizleme çalıştayını düzenlendi ve o zamandan beri bu çalıştaylar dizisi, veri gizleme teorisi ve uygulamalarında en son gelişmeleri sunmak için birinci sınıf yıllık toplantı yeri haline gelmiştir (Jessica, 2007, ICIP 2022). Stego dosyasının silinmesi veya algoritmasına müdahale edilmesi durumunda gizli bilgilerin kaybolacağını unutmamak önemlidir (Morkel, et al., 2005).



Şekil 5. Detaylı Steganografi Görseli

Telif hakkı korumasının artan önemi nedeniyle, filigran tekniği birçok araştırmacının ilgisini çekmektedir. Bilgisayar uzmanları ve güvenlik araştırmacıları, steganografinin yasadışı kullanımının bir tehdit haline gelebileceğini belirtmişlerdir. Steganografi teröristlerin gizlice iletişim kurmasına kolluk kuvvetlerinin bundan haberi olmadan izin verebilir. Bu tehdit nedeniyle, araştırmacılar mevcut steganografi sistemlerinde kusurları bulmayı hedeflemiştir (Kovaçç & Jones, 2002).

İnternette 1 dakikada neler olduğu sorusu aslında steganografi için de oldukça önem arz etmektedir. Çünkü bu istatistiksel çalışmaya göre hangi alanda yoğun kullanım olduğunu tespit edebiliriz.



Şekil 6. İnternette 1 Dakikada Gerçekleşen Değişim (Navarra, 2022).

E-mail: 231 milyon, Yazı: 16 milyon, Google: 5.9m arama, Snapchat: 2.4m snap Facebook: 1.7m gönderi, Tinder: 1.1m swipes, Twitter: 347k twit, Instagram: 66k Fotoğraf, YouTube video yükleme süresi: 500 saat

İnternette 1 dakikada gerçekleşen muazzam bir veri akışı tablosu yukarıda sunulmuştur.

Şekil 6'da yer alan istatistiklere istinaden değerlendirme yapıldığında, veri iletişimi günümüz için muazzam şekilde ilerlemiştir. Bu ortamda veri güvenliğinin önemi artmakla beraber, güvenlik zaafiyeti sonucunda çok ciddi kayıplar yaşanabilmektedir. Veri gizleme tekniklerinden biri olan steganografi veri güvenliğinde de önemli bir değer taşımaktadır.

3. MATERYAL VE METOT

Bu bölüm, çalışmada kullanılan R,G,B ve Alfa kanalını kısaca gözden geçirmektedir.

3.1. Dijital Görüntülerde R,G,B ve Alfa Kanalı

Steganografi, bilgi veya veri gizlemenin bir yöntemidir ve çeşitli taşıyıcı ortamların içine gizli mesajları yerleştirme işlemidir. RGB (Red, Green, Blue) renk modeli, piksellerin kırmızı, yeşil ve mavi bileşenlerini kullanarak renklerin oluşturulduğu bir modele işaret eder.

Alfa kanalı ise bir renk modelindeki dördüncü bir bileşendir ve genellikle opaklık seviyesini temsil eder. Alfa kanalı, bir pikselin ne kadar saydam veya opak olduğunu belirler. Bu kanal, görüntülerin yarı saydam piksellerini ve görüntü üzerine eklenmiş olan katmanları kontrol etmek için kullanılır (Ghaith, 2014).

Steganografi genellikle görüntü dosyalarında kullanılan bir yöntemdir ve RGB renk modeli ile birlikte Alfa kanalı da görüntülerin saklanan mesajları taşımak için maskeleyerek kullanılabilir. Görüntüdeki piksellerin her bir bileşeni (RGB) ve Alfa kanalı, gizli mesajı saklamak için kullanılacak değerleri temsil edebilir. Bu şekilde, görüntü dosyasının görünümünde çok az fark oluşturularak gizli mesajı taşıyabilirsiniz.

Alfa kanalı, bir renk modelinde dördüncü bir bileşendir ve genellikle opaklık veya saydamlık seviyesini temsil eder. İngilizce "Alfa channel" terimi, görüntü işleme ve grafik tasarım alanlarında sıklıkla kullanılır. Bir pikselin opaklık düzeyini belirtmek için 0 ile 255 arasında değerler kullanır. Bu değerler, pikselin tamamen saydam (0) veya tamamen opak (255) olduğunu gösterebilir. Aradaki değerler, kısmi saydamlık veya yarı saydamlık oluşturmak için kullanılabilir.

Alfa kanalı, genellikle RGBA renk modeliyle birlikte kullanılır. RGBA, Red (kırmızı), Green (yeşil), Blue (mavi) ve Alfa (opaklık) bileşenlerini temsil eder. Bu renk modeli, özellikle transparan (saydam) görüntülerin veya katmanların kullanıldığı grafik tasarım ve görüntü işleme uygulamalarında sıkça kullanılır.

RGBA, RGB renk modelini alfa değeriyle genişletir. Alfa kanalı 1971'de "Catmull" ve "Smithin" tarafından icat edilmiştir (Alvy, 1995). Görüntüdeki her pikselde saydamlık için ayrılmış bir veri bölümü vardır. Bir görüntüdeki saydamlığı ve opaklığı kontrol eden bilgi, alfa kanalıdır. Görüntülerdeki her piksele ayrı ayrı uygulanır ve pikselin çevreleyen piksellerle nasıl birleştiğini ve arka plana ne kadar karıştığını kontrol etmek için kullanılır. Alfa kanalı, görüntünün veya katmanın yalnızca belirli bir bölümünün görünmesini sağlayarak karmaşık görüntü efektleri oluşturabilir ve daha esnek bir görüntü düzenlemesi imkanı sunar.

4. ŞİFRELEME İÇİN ÖNERİLEN ALGORİTMA

Bu makalede görüntü şifreleme işleminde kullanılacak teknik için yeni bir algoritma geliştirilmiştir. Bu işlemlerin gerçekleştirilebilmesi için kullanılacak ortam C# yazılım dili ile kodlanmıştır. Uygulama sayesinde son kullanıcı dahi kolaylıkla bilgi gizleyebilir ve çözebilir. Geliştirilen uygulama için grafikler özel olarak tasarlanmış ve bir form sayfası hazırlanmıştır. Gizleme mantığının tersi olarak çözme algoritması çalışmaktadır. Her pikselin renk kanallarına erişilerek en az anlamlı bitler elde edilir. ReverseBits metodu üzerinden gizli mesaj elde edilir.

4.1. Şifreleme İşlemi

Adım 1. İlk olarak uygulama başlatılır.

Adım 2. Dosya Seç butonu ile kullanıcıdan PNG formatında resim seçmesi istenir. (PNG harici uzantıya izin verilmez, özel olarak filtrelenmiştir.)

Adım 3. Seçilen resim pictureBox üzerinde gösterilir.

Adım 4.Seçilen resme ait FileInfo komutu ile bilgiler okunur. (Dosya yolu, Dosya boyutu KB-MB, Dosya uzantısı, Dosya boyutu px.)

Adım 5. Kullanıcıdan textBox alanına gizlenmesini talep ettiği metni girmesi istenir.

Adım 6. Kullanıcı textBox alanına yazmaya başladıkça canlı olarak label üzerinde o metnin dönüşüm olarak hesaplanmış KB cinsinden uzunluğu tutulur.

Adım 7. Resim üzerinde piksel bazında dolaşarak her bir pikselin renk değerlerine erişilir.

Adım 8. Resmin arka planının şeffaf olup olmadığı kontrol edilir. Alfa kanalı sorgulanır.

Adım 9. Resmin arka planı şeffaf ise alfa kanalında maskeleyme yapılır.

Adım 10. Resmin arka planı şeffaf değilse RGB kanallarında işlem yapılır.

Adım 11. Her pikselin renk değerleri RGB (kırmızı, yeşil, mavi) ve A (alfa) kanallarından oluşur. Bu kanalların her biri 8 bit (0-255 arası değer) ile temsil edilir.

Adım 12. Gizleme işlemi, metni en az anlamlı bitlere saklama mantığına dayanır. Yani, her bir renk kanalının en az anlamlı bitleri değiştirilerek metin gizlenir

Adım 13. Örneğin, R (kırmızı) kanalının en az anlamlı biti, G (yeşil) kanalının en az anlamlı biti, B (mavi) kanalının en az anlamlı biti ve A (alfa) kanalının en az anlamlı biti metin bitlerini saklamak için kullanılabilir.(Alfa kanalında maskeleyme yapılması gerekmektedir.)

Adım 14. Her pikseldeki renk kanallarının en az anlamlı bitleri sırasıyla değiştirilerek metin bitleri yerleştirilir.

Adım 15. Kullanıcı Gizle butonuna tıkladığı anda gizleme algoritması çalışmaya başlar.

Adım 16. Her pikseldeki renk kanallarının en az anlamlı bitleri sırasıyla değiştirilerek metin bitleri yerleştirilir.

Adım 17. Kullanıcı Gizle butonuna tıkladığı anda gizleme algoritması çalışmaya başlar.

Adım 18. Metnin tamamı işlenip gizlendikten sonra, elde edilen resim gizli mesajı içerir ve bu resim normal bir resim gibi görünür.

4.2. Şifre Çözme İşlemi

Adım 1. İçerisine gizli bilgi kaydedilmiş resim kullanıcı tarafından resim seç butonu ile seçilir.

Adım 2. Bilgiyi çöz butonu ile arka planda çözme algoritmasına erişilir.

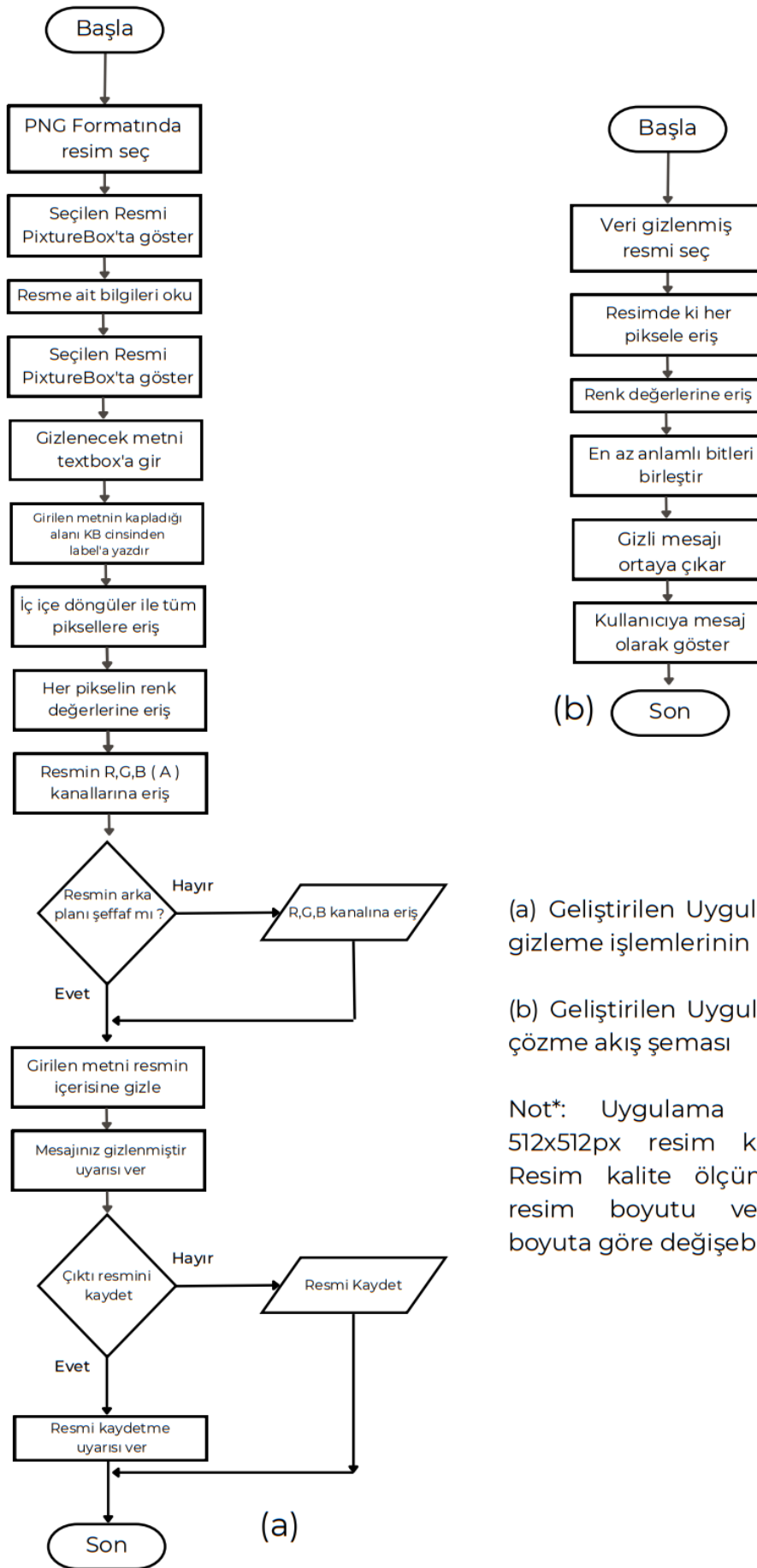
Adım 3. Resimdeki her bir pikselin renk değerlerine erişilir.

Adım 4. Her pikselin renk değerlerindeki en az anlamlı bitler elde edilir.

Adım 5. Bu en az anlamlı bitler birleştirilerek ReverseBits metodu üzerinden gizli mesaj elde edilir.

Adım 6. Gizli mesaj ortaya çıkar ve okunabilir hale gelir.

Adım 7. Ekran üzerinde messageBox kısmında gizlenmiş olan mesaj kullanıcıya gösterilir ve gizli mesaj iletilir.

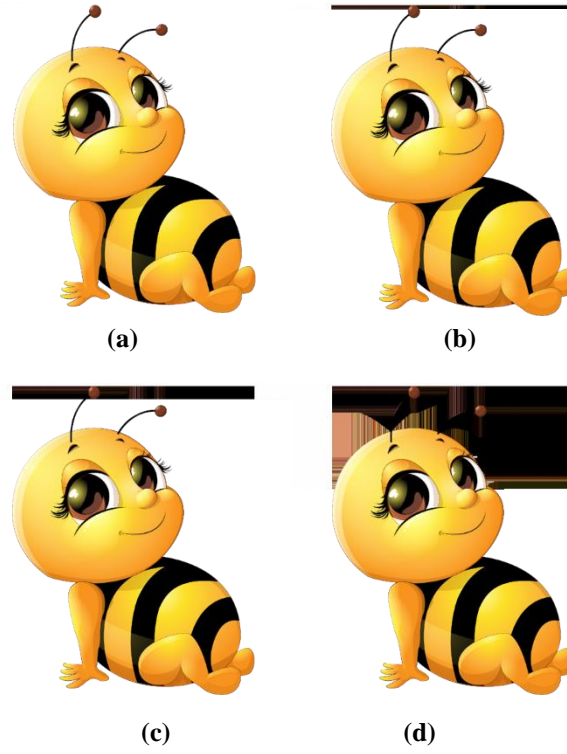


(a) Geliştirilen Uygulamanın veri gizleme işlemlerinin akış şeması

(b) Geliştirilen Uygulamanın veri çözme akış şeması

Not*: Uygulama örnek için 512x512px resim kullanılmıştır. Resim kalite ölçüm sonuçları resim boyutu ve kapladığı boyuta göre değişebilmektedir.

Şekil 7. Geliştirilen Uygulamanın Akış Şeması



Şekil 8. (a) Alfa kanalı maskelenmiş hal (b, c, d) Alfa kanalı maskelenmemiş hal

Yukarıda 4 adet (a, b, c, d) numaralı görsellerde arka planı şeffaf olan bir PNG arı resmine farklı KB uzunluklarında metinler gizlenmiştir. Alfa kanalı dâhil edilmediği takdirde (b, c, d) şekillerinde gözüktüğü gibi, gizlenen metin boyutu yükseldikçe arka plandaki şeffaf kısımlar farklı piksel renklerle gösterilmektedir. Alfa kanalı maskelendiğinde ise şekil (a) üzerinde gösterildiği gibi arka planda herhangi bir değişiklik olmamaktadır. Bu nedenle alfa kanalının maskelenmesi, steganografi çalışmalarında arka planı şeffaf olan resimler için kullanılmaktadır. Ayrıca makine öğrenme yöntemleri ve insan gözü ile fark edilmemesi için önem arz etmektedir.

5. PERFORMANS ANALİZİ

Bu bölüm, önerilen algoritmanın başarı kalitesini ölçmek amacıyla literatürde yer alan kalite ölçüm metriklerinin sonuçlarını sunar. Geliştirilen algoritmanın arkaplanı şeffaf olan resimlerde bilgi gizleme amacı taşıması sebebiyle aşağıdaki bölümlerde sunulan, arı, kulaklık ve yılan resimleri üzerinde testler gerçekleştirilmiştir.

5.1. Ortalama Kare Hata Metodu (MSE)

Veri gizleme tekniklerinin uygulanması neticesinde, stego görüntünün kalitesini belirleyebilmek amacıyla bazı yöntemler kullanılır. Bir kalite ölçüm yöntemi olan MSE (Mean Square Error veya Türkçe karşılığıyla ortalama kare hata), taşıyıcı görüntü ile stego görüntü arasındaki piksel değeri farklarının karesel toplamını temsil eder. Bu yöntem, steganografi uygulamalarında kullanılır ve iki görüntü arasındaki gizli veri gömülme veya çıkarma işlemlerinin başarısını değerlendirmek için kullanılır. Gizli verinin algılanma durumunu azaltmak için hata oranının çok küçük olmasını beklenmektedir. Normal olarak hata oranı yüksekse görüntü bozulur, düşük ise daha temiz ve net bir görüntü elde edilir.

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n (C_i - C_i')^2}{n} \quad (1)$$

5.2. Tepe Sinyal Gürültü Oranı (PSNR)

Görüntünün mevcut kalitesini ortaya çıkartarak test etmek için, veri boyutuna bağlı ortalama karesel hatanın kullanılmasından daha önemli olan tepe sinyal gürültü oranı kullanılabilir. Tepe sinyal gürültü oranı olarak ifade edilen (PSNR) logaritmik olarak hesaplanır. Ortalama karesel hatayı da içermektedir.

$$PSNR(dB) = 10 \log_{10} \frac{255^2}{MSE} \quad (2)$$

Yukarıdaki denklemde olduğu gibi standart bir formül olup, gürültü desibel (dB) cinsinden ifade edilir. Stego görüntünün kaliteli sayılabilmesi için kalitesinin analizi yapıldığında PSNR değerinin 40 dB üzerinde olması gerekir (Cheddad ve diğ., 2010).

5.3 Yapısal Benzerlik İndeksi (SSIM)

Yapısal benzerlik indeksi SSIM olarak ifade edilir. Değeri taşıyıcı görüntünün stego görüntü ile birbirine benzeyip benzemediğini ortaya çıkartmak ve ölçmek için kullanılır. Temel mantığı insan görsel sistemi olan (HSV) algılanmasına dayanır.

$$SSIM(x, y) = \frac{(2\mu_x\mu_y + C_1)(2\sigma_x\sigma_y + C_2)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2)} \quad (3)$$

Yukarıdaki denklemde SSIM değerinin hesaplama formülü paylaşılmıştır. Burada x ve y değerleri taşıyıcı ve stego görüntüleri ifade etmek amacıyla belirtilir. Görüntülerdeki piksel yoğunluğu μ ile, standart sapma σ ile ve katsayılar da C ile ifade edilerek formülde sunulmuştur.

5.4. Entropi

Entropi, bir sistemdeki düzenlilik veya belirsizlik seviyesini ölçmek için kullanılır. Bir veri kümesinin entropisi, veri setindeki değerlerin çeşitliliği ve dağılımının bir ölçüsüdür. Eğer bir veri kümesindeki değerler benzer veya tekrarlayan ise, entropi düşük olur çünkü daha az belirsizlik vardır. Ancak, eğer bir veri kümesindeki değerler farklı ve çeşitli ise, entropi yüksek olur çünkü daha fazla belirsizlik vardır.

Entropi, bilgi sıkıştırma, veri analizi, şifreleme ve veri iletimi gibi birçok alanda kullanılır. Örneğin, sıkıştırma algoritmaları, düşük entropiye sahip verileri daha etkin bir şekilde temsil ederek veri boyutunu azaltır. Denklem (4) te gösterilmiştir.

$$H(m) = \sum_{i=0}^{M*N-1} P(m_i) \log_2 \frac{1}{p(m_i)} \quad (4)$$

Entropi, bir görüntünün istatistiksel düzensizlik veya belirsizlik derecesini ölçer. Steganografi işlemi sırasında, gizli mesajın görüntüye eklenmesi, görüntünün entropi değerinde bir değişiklik yapar. Eğer gizli mesaj doğru bir şekilde eklenirse, görüntünün entropi değeri değişmeden veya sadece minimal bir değişikliklerle neredeyse aynı kalır. Görüntüdeki entropi, piksellerin renk dağılımı ve görüntüleri ile ilgilidir. Düşük entropi, görüntünün daha düzenli ve tahmin edilebilir olduğunu gösterirken, yüksek entropi daha fazla rastgelelik ve düzensizlik içerdiğini gösterir.

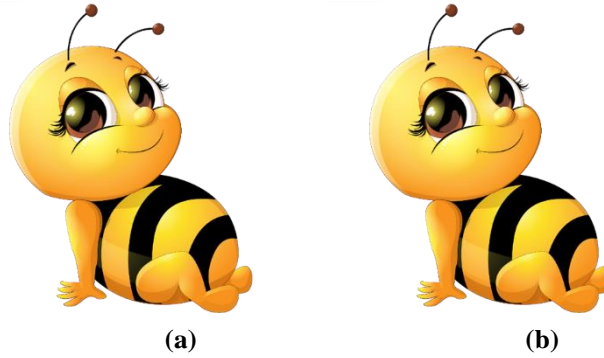
Steganografi (veri gizleme) tekniklerine uygun olarak hazırlanmış olan bu çalışma C# programlama dili kullanılarak Visual Studio .NET ortamında özel bir form tasarlandıktan sonra kodlanarak gerçekleştirilmiştir. Bu uygulamada LSB tekniği kanalı üzerinde RGB kanallarının yanı sıra alfa kanalı da dâhil edilmiştir

(R,G,B,A). Gerçekleştirilen bu çalışmanın yapısının ve başarısının testini gerçekleştirmek amacıyla, PSNR, MSE, ENTROPİ testleri ve ölçümleri MATLAB ortamında tekrardan kodlanarak gerçekleştirilmiştir.

Geliştirilen uygulamada başarılı işlemlerin yanı sıra son kullanıcıya hitap edecek şekilde bir form ara yüzü tasarlanmış ve resmi gizlemeden önce resme ait bazı parametre ve değerler kullanıcıya ekranda gösterilmiştir. Ayrıca ek bir özellik olarak kullanıcı textbox alanına gizlenecek bilgiyi yazmaya başladığı andan itibaren, yazdığı her harfin ne kadar KB boyut yer kapladığı bir label üzerinde kullanıcıya canlı olarak gösterilmektedir. Böylece kullanıcı gizleyeceği bilgiyi yazarken bunun toplam boyutunu görebilmektedir. LSB algoritmasında mesajın 1 karakteri resmin 8 baytına kopyalanmaktadır.

Farklı KB boyutlarında bilgi içeren metinlerin gizlendiği resimlerin kalite karşılaştırmaları yapılmıştır. PSNR değeri için 40 dB üzeri literatürde başarılı kabul edilmektedir (Bayam, 2018). Bu çalışmayla beraber gizlediğimiz bilgi sonucunda oluşan resimlerin değerleri tablo olarak sunulmuştur. Çıkan sonuçlar incelendiğinde literatüre göre başarılı kabul edilmektedir. Çeşitli boyutlarda metinler hazırlanarak resim içerisine gizlenmiştir. Metin uzunlukları 1,5,10,20,30 Kilobayt olacak şekilde test edilmiştir. Bu sonuçlar bir tablo haline getirilerek sunulmuştur. Gizlenmiş olan mesajın anlaşılması için geliştirilen uygulama içerisinde 50 KB, 60 KB olarak da veriler saklanabilmektedir.

Ancak literatür karşılaştırması için yukarıda belirlenen değerler üzerinden test edilmiştir. Farklı boyutlara sahip metinlerin Arı, Kulaklık ve Yılan isimli PNG dosyalarına gizlenmesi sonucunda ortaya çıkan resimlerin, kalite ölçüm sonuçları tablo olarak sunulmuştur.



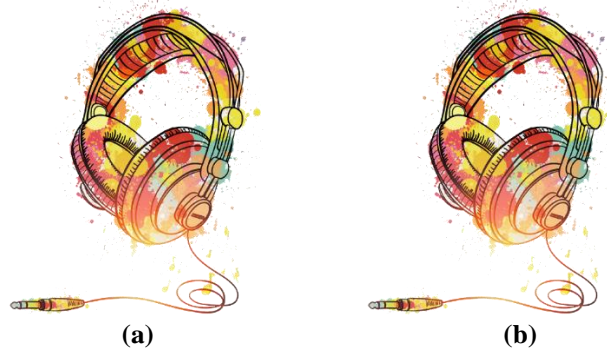
Şekil 9. (a) Orijinal arı resmi (b) Şifrelenmiş arı resmi

Tablo 1. Farklı boyutlarda veri gizlenmiş resmin kalite ölçüm sonuçları

Metin Büyüklüğü	PSNR	MSE	SSIM	ENTROPİ
1KB	48.222	1	0.9995	6.752
5 KB	48	1.03	0.9989	6.755
10 KB	47.91	1.06	0.9983	6.757
20 KB	47.63	1.13	0.9972	6.761
30 KB	47.38	1.2	0.9964	6.766

Tablo 1'de farklı boyutlara sahip verilerin arka planı şeffaf olan 512x512 piksel boyutundaki arı resmine gizlenmesi sonucunda oluşan kalite farkını göstermek için ifade edilen, ortalama karesel hata, tepe sinyal gürültü oranı, yapısal benzerlik indeksi ve entropi metrikleri kullanılmıştır.

Ortaya çıkan tablodaki veri sonuçlarına göre, 48.2 gibi yüksek bir PSNR değeri, iyi bir kalite performansı gösterdiğini işaret eder. Düşük MSE değerleri, stego görüntünün taşıyıcıya yakın bir kaliteye sahip olduğunu gösterir. 1.2 gibi düşük bir MSE değeri, iyi bir kalite performansını ifade eder. SSIM değerinin 1 olması, stego görüntünün taşıyıcı görüntüyle büyük bir yapısal benzerlik taşıdığını ifade eder.



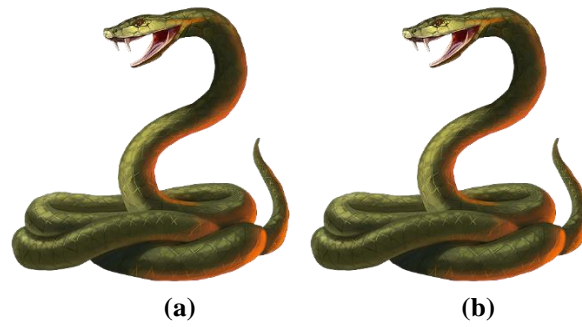
Şekil 10. (a) Orijinal kulaklık resmi (b) Şifrelenmiş kulaklık resmi

Tablo 2. Farklı boyutlarda veri gizlenmiş kulaklık resminin kalite ölçüm sonuçları

Metin Büyüklüğü	PSNR	MSE	SSIM	ENTROPİ
1KB	45.05	2	0.9997	4.107
5 KB	44.98	2.07	0.9984	4.108
10 KB	44.91	2.1	0.9977	4.109
20 KB	44.77	2.16	0.9967	4.110
30 KB	44.65	2.22	0.9958	4.113

Tablo 2'de farklı boyutlara sahip verilerin arka planı şeffaf olan 512x512 piksel boyutundaki kulaklık resmine gizlenmesi sonucunda oluşan kalite farkını göstermek için ifade edilen, Ortalama Kareysel Hata, Tepe Sinyal Gürültü Oranı, Yapısal Benzerlik İndeksi, Entropi metrikleri kullanılmıştır.

Ortaya çıkan tablodaki veri sonuçlarına göre, 45.05 gibi yüksek bir PSNR değeri, iyi bir kalite performansı gösterdiğini işaret eder. Düşük MSE değerleri, stego görüntünün taşıyıcıya yakın bir kaliteye sahip olduğunu gösterir. 2 gibi düşük bir MSE değeri, iyi bir kalite performansını ifade eder. SSIM değerinin 1 olması, stego görüntünün taşıyıcı görüntüyle büyük bir yapısal benzerlik taşıdığını ifade eder. Bu sonuçlar değerlendirildiğinde kulaklık resminin, arı resmine yakın değerler elde edildiği görülmüştür.

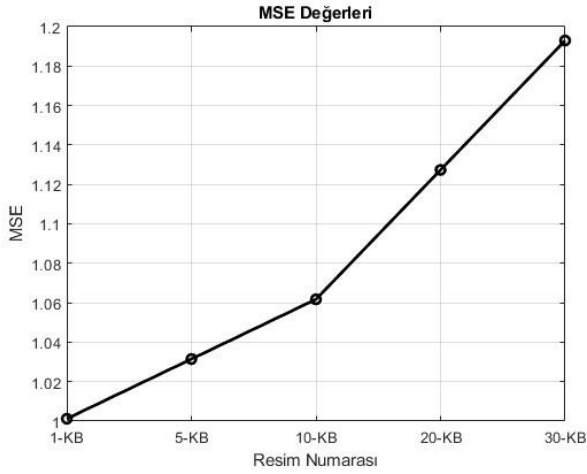


Şekil 11. (a) Orijinal yılan resmi (b) Şifrelenmiş yılan resmi

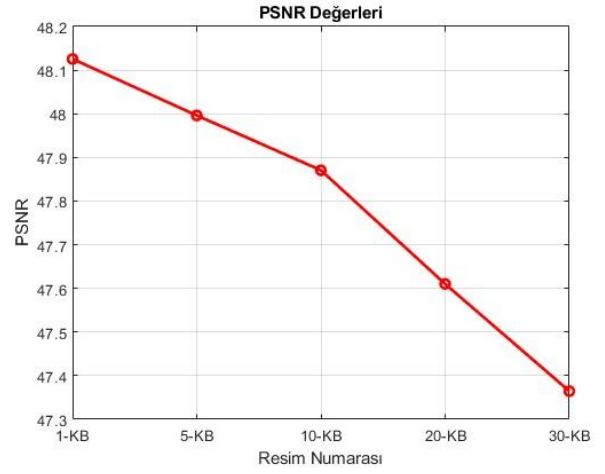
Metin Büyüklüğü	PSNR	MSE	SSIM	ENTROPİ
1KB	47.28	1.22	0.9980	4.0712
5 KB	47.15	1.25	0.9975	4.0707
10 KB	47.09	1.28	0.9970	4.0703
20 KB	46.85	1.35	0.9958	4.0701
30 KB	46.62	1.41	0.9950	4.0698

Tablo 3'de farklı boyutlara sahip verilerin arka planı şeffaf olan 512x512 piksel boyutundaki yılan resmine gizlenmesi sonucunda oluşan kalite farkını göstermek için ifade edilen, ortalama karesel hata, tepe sinyal gürültü oranı, yapısal benzerlik indeksi ve entropi metrikleri kullanılmıştır.

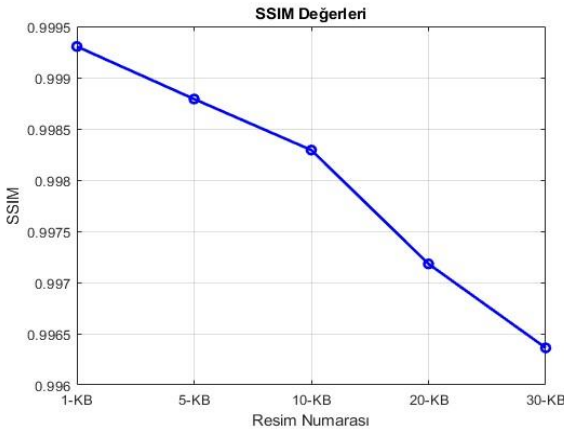
Ortaya çıkan tablodaki veri sonuçlarına göre, 47.28 gibi yüksek bir PSNR değeri, iyi bir kalite performansı gösterdiğini işaret eder. Düşük MSE değerleri, stego görüntünün taşıyıcıya yakın bir kaliteye sahip olduğunu gösterir. 1.22 gibi düşük bir MSE değeri, iyi bir kalite performansını ifade eder. SSIM değerinin 1 olması, stego görüntünün taşıyıcı görüntüyle büyük bir yapısal benzerlik taşıdığını ifade eder. Bu sonuçlar değerlendirildiğinde yılan resminin, kullanılan kulaklık ve arı resmine yakın değerler elde ettiği görülmüştür. Bu nedenle değerlendirmeler başarılı olarak gözlemlenmiştir.



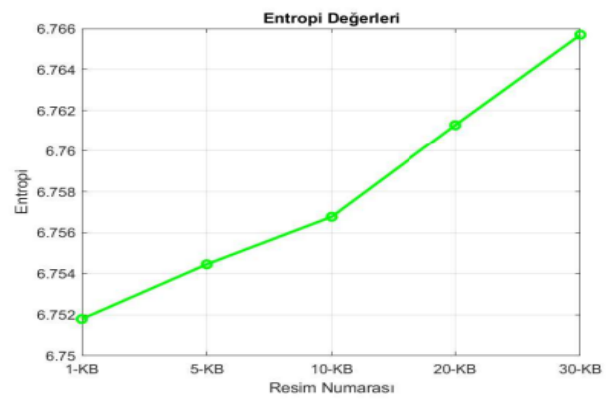
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 12. (a, b, c, d) arı resmi referans alınarak, ortalama karesel hata, tepe sinyal gürültü oranı, yapısal benzerlik indeksi ve entropi metrikleri kullanılarak MATLAB üzerinde elde edilen grafik sonuçları sunulmuştur.

6. BULGULAR VE TARTIŞMA

Tablo 4'de şimdiye kadar gerçekleştirilen çalışmalar ile önerilen alfa kanalı filtreli algoritmanın karşılaştırması yapılmıştır.

Tablo 4. Literatürde yer alan çalışmalar ile karşılaştırma

İlgili Çalışma	PSNR	MSE	SSIM	ENTROPİ
(Andaç, 2007)	20,16	626,619	X	X
(Öztürk ve ark, 2007)	54,05	0,255	X	X
(Olçay ve Saran, 2013)	57,60	0,1128	X	X
(Sarayreh, 2014)	46,14	0,270	X	X
(Karakış ve ark, 2020)	64,48	0,005	0,99	X
(Karaduran, 2020)	42,53	3,65	X	X
Önerilen Alfa Kanalı Filtreli Çalışma	48,222	1	0,999	6,752

Tablodaki değerlere bakıldığında önerilen algoritmanın literatürdeki çalışmalarla kıyaslanması sonucunda alfa kanalı maskelenmiş olmasına rağmen oldukça iyi sonuç verdiği görülmüştür.

Alfa kanalı filtreli olarak gerçekleştirilmiş olan çalışma, birebir aynı değerleri ve testleri içeren çalışmalar olmaması sebebiyle en yakın değerlere sahip çalışmalar ile kıyaslanmıştır. Literatürde, tepe sinyal gürültü oranı (PSNR) için 40 dB üstü sonuçlar başarılı kabul edildiğinden (Bayam, 2018) diğer metrik ölçümleri incelendiğinde yapılan çalışmanın başarılı sonuç ürettiğinin bir göstergesidir.

İnternetin günümüz dünyasında oldukça hızlı ilerlediği ve anlık olarak 1 dakikada milyonlara veri transferi gerçekleştiği bilinmektedir. Günümüzde resim dosyaları hem boyut olarak fazla yer kaplamaması ve hem de insanlar tarafından en kolay şekilde bir çok farklı platform aracılığı ile transfer edilebilmektedir.

Bu makalede steganografik tekniklerinden LSB tekniği kullanılarak R,G,B renk kanallarının yanı sıra Alfa kanalı üzerinde işlemler gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen uygulamada son kullanıcının kolaylıkla kullanımına uygun bir görsel ara yüz tasarlanmış ve özelleştirilmiştir.

7. SONUÇLAR VE GELECEKTEKİ ÇALIŞMALAR

Sonuçlar dikkate alındığında, önerilen yöntem ile resim içerisine gizlenen metinlerin başarılı bir şekilde gizlendiği ve çıkartıldığı sorunsuz bir şekilde işlem yapılabildiği tespit edilmiştir.

Kalite ölçümlerinin gerekli değerleri karşıladığı ve arka planı şeffaf olan resimler için bu tekniğin başarılı bir şekilde rahatlıkla kullanılabilceği belirlenmiştir.

Mahremiyet ve gizli iletişim hakkında günümüzde çok ciddi önlemler alınmaktadır. Bu hususta değerlendirme yapıldığında önerilen bu teknik ve gerçekleştirilen bu çalışma görsel steganografi üzerinde bu problemin çözümüne katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Dijital görüntüler için yeni görüntü formatları ortaya çıktıkça kodlama dilleri üzerinde daha iyi performans/analiz uygulamaları geliştirilmesi araştırılacaktır.

Sosyal medya uygulamalarının bilgi gizlenmiş olan resimlerin algoritmasını bozmaması için koruma sağlayan bir algoritma gerçekleştirilmesi araştırılacaktır.

Steganografi, mahremiyet ve gizlilik alanında birçok uygulama potansiyeline sahip olması sebebiyle, gelecekte bu çalışmanın sonuçlarından yola çıkarak steganografinin yeni alanlarda kullanımı araştırılabilir. Dijital iletişim, ve veri saklama gibi farklı alanlarda steganografinin kullanımı incelenecektir.

Kapasite ve hız iyileştirmeleri yapılabilir. Şu anda kullanılan LSB tekniği, resim dosyasının en düşük anlamlı bitlerinde gizlenen metinleri destekler. Ancak, daha yüksek kapasiteli ve hızlı veri gizleme yöntemleri üzerinde çalışmak, daha fazla bilgiyi resme gizlemek ve işlemleri hızlandırmak için fırsatlar sunabilir.

REFERANSLAR

Alvy, R. S. (1995). Alpha and the History of Digital Compositing. Microsoft Tech Memo, 7, p. 8-15.

Balcı, D. & Karakış, R. & Güler, İ. (2020). Tıbbi DICOM Veri Güvenliğinde Hibrit Yöntemlerin Kullanılması. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 1303-1304.

Bayam, İ., (2018). Kaotik Yöntem İle En Düşük Değerlikli Bit Steganografi Modeli ve Uygulaması, 78

Cheddad, A., Condell, J., Curran, K. ve Mc Kevitt, P., 2010, Digital image steganography: Survey and analysis of current methods, Signal Processing, 90 (2010)

Cox, I. J., Miller, M. L., & Bloom, J. A. (2002). Digital Watermarking (2nd ed.). Morgan Kaufmann.(2002)

Ghaith Salem Sarayreh, Text Hiding in RGBA Images Using the Alpha Channel and the Indicator Method (2014)

Gonzalez, R. C., & Woods, R. E. (2008). Digital Image Processing. Pearson Education. Pratt, W. K. (2007). Digital Image Processing. John Wiley & Sons. (2007)

Jessica Fridrich, 2007. Binghamton University, State University of New York (SUNY). Steganography in digital media, Principles, Algorithms, and Applications in book, 117, 118, 119. (2007)

Jessica Fridrich, 2007. Binghamton University, State University of New York (SUNY). Steganography in digital media, Principles, Algorithms, and Applications in book, 7-8. (2007)

Jessica Fridrich, 2007. Binghamton University, State University of New York (SUNY). Steganography in digital media, Principles, Algorithms, and Applications in book.(2007)

Kadhim, I. J., Premaratne, P., Vial, P. J., & Halloran, B., 2019. Comprehensive survey of image steganography: Techniques, Evaluations, and trends in future research. Neurocomputing,335,299-326.

Karaduran, A. & Turan M. (2020). Cebirsel Şifrelenmiş LSB Yöntemi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (Special Issue), 73-80.

Kovacich, G. & Jones, A. (2002). What infosec professional should know about information warfare tactics by terrorists. Computer & Security, 21(1), 35-41.

Morkel, T., Eloff, J. H., & Olivier, M. S. (2005, June). An overview of image Steganography. In Information Systems Security Association (ISSA), pp. 1-11.

N. F. Johnson and P. Sallee. Detection of hidden information, covert channels and information flows. In John G. Voeller, editor, Wiley Handbook of Science Technology for Homeland Security. New York: Wiley & Sons, Inc, April 4, (2008).

Olçay, C. & Saran, N. (2013). İmge İçine Bilgi Gizlemede Kullanılan LSB Yöntemlerinin Karşılaştırılması. C, ankaya University Journal of Science and Engineering Volume 10 (2013), No. 1, 17–32

Öztürk, E. & Şahin, A. & Mesut, A. (2011). LSB Ekleme Yönteminde Bilgi Gizleme İçin Tek Renk Kanal Kullanımının Güvenliğe Etkileri. 4. Ağ ve Bilgi Güvenliği Sempozyumu. -444

Şahin, A., (2007). Görüntü Steganografide Kullanılan Yeni Metodlar ve Bu Metodların Güvenirlikleri, 81-82.

Wan, W., Wang, J., Zhang, Y., Li, J., Yu, H., & Sun, J., 2022. A Comprehensive Survey on Robust Image Watermarking. Neurocomputing. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2022.02.083>.

Yılmaz İ. Renk Sistemleri, Renk Uzayları ve Dönüşümler, Selçuk Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Öğretiminde 30.Yıl Sempozyumu, Konya, 10, (2002)

İNTERNET KAYNAKLARI

https://tr.wikipedia.org/wiki/Viktor_Korchnoi (03.06.2023)

<https://autonom.com.tr/goruntu-olusumu> (03.06.2023)

<https://digitalage.com.tr/internette-bir-dakika-matt-navarra> (03.06.2023)

<https://www.lib.cam.ac.uk/university-archives/glossary/> Syndics of Cambridge University Library (03.06.2023)

Not: Bu makale, İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı'nda, Doç.Dr. Mustafa Cem Kasapbaşı danışmanlığında, Mehmet ŞANVEREN tarafından yürütülecek olan, “Görüntüler Üzerinde Alfa Kanalı Filtreli Veri Gizleme Tekniği ve Uygulaması” başlıklı yüksek lisans tezinin ön çalışmalarından yararlanılarak hazırlanmıştır.

{Bu sayfa özellikle boş bırakılmıştır}

Araştırma Makalesi

İKİNCİ EL ARAÇ DEĞERLEMESİNDE MAKİNE ÖĞRENME TEKNİKLERİNİN UYGULANMASI

Esra DERE[†], Mustafa Cem KASAPBAŞI^{††}[†] İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İstanbul, Türkiye^{††} İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İstanbul, Türkiyeesra.dere@istanbulticaret.edu.tr, mckasapbasi@ticaret.edu.tr

0000-0003-1598-5853, 0000-0001-6444-6659

Atıf/Citation: ESRA, D., KASAPBAŞI, M. C., (2023). İkinci El Araç Değerlemesinde Makine Öğrenme Tekniklerinin Uygulanması, Journal of Technology and Applied Sciences 6(2), s.37-51, DOI: 10.56809/icutas.1329496

ÖZ

Son yıllarda ikinci el araçların pazar hacmi artmıştır. Bu pazarda satıcı ve alıcı için doğru fiyatlandırma oldukça önemlidir. Son kullanıcı veya kurumlar için ikinci el araç değerlemesine ya da kiralanmasında yardımcı olacak sistemsel bir yapıya ihtiyaç bulunmaktadır. Bu çalışmada ilgili ikinci el araç ilanların yer aldığı sitelerden Selenium test aracı ile 26.000 üzerinde veri toplanmış ve bu veriler üzerinde veri ön işleme (temizleme, dönüştürme vs.) adımları uygulanmıştır. Makine öğrenme teknikleri KNIME Analytics Platform veri madenciliği programının 4.7.3 sürümünde uygulanarak ikinci el araç fiyatı tahmin edilmeye çalışılmış ve sonuçlar birbiriyle karşılaştırılmıştır. Performans ölçülürken R² kullanılmıştır. Sonuçlar değerlendirildiğinde Lineer regresyon 0,56 R², Random Forest 0,83 R², GBoosted 0,81 R² ve Tree Ensemble 0,82 R² oranıyla tahminleme için başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Makine Öğrenmesi, KNIME, İkinci El Araç Fiyat Tahmini

APPLICATION OF MACHINE LEARNING TECHNIQUES IN USED VEHICLE VALUATION

ABSTRACT

The market volume of second-hand vehicles has increased in recent years. In this market, accurate pricing is very important for the seller and the buyer. There is a need for a systematic structure that will help end-users or organizations in the valuation or leasing of used vehicles. In this study, over 26,000 data were collected from the relevant used car classifieds websites with Selenium test tool and data preprocessing (cleaning, transformation, etc.) steps were applied on these data. Machine learning techniques were applied in version 4.7.3 of the KNIME Analytics Platform data mining program to predict the used car price and the results were compared with each other. R² was used to measure performance. When the results are evaluated, successful results were obtained with Linear regression 0.56 R², Random Forest 0.83 R², GBoosted 0.81 R² and Tree Ensemble 0.82 R².

Keywords: Machine Learning, KNIME, Second Hand Car Price Estimate

Geliş/Received : 18.07.2023
Gözden Geçirme/Revised : 21.07.2023
Kabul/Accepted : 28.07.2023

1. Giriş

Günümüzde yüksek ÖTV oranları, bayilerde veya galerilerde araç bulunamaması gibi nedenlerden dolayı ikinci el araç satış hacmi Türkiye de ve dünyada artmıştır. Yeni otomobil satış hacmi, ikinci el satış hacminin gerisinde kalmıştır. Bu durum, ikinci el araç piyasasının gün geçtikçe daha da önem kazandığını ortaya koymaktadır. Dünyadan örnek verilecek olursa, ABD ekonomisinde ikinci el araç pazarı, sıfır araç pazar hacminden iki kat daha fazla ve bu fazlalık süreklilik göstermektedir [1]. İkinci el araç pazarları, tüketicilere maksimum kalitede uygun fiyatlı araç bulma imkanı sağlamaktadır. Bu noktada aracın gerçek değerini belirlemek hem satıcı hem de alıcı için oldukça önemlidir.

Mevcut sistemde satıcı aracının gerçek değeri konusunda yani kaçta satması gerektiğini, alıcının da aracın ederinin ne olduğu konusunda bilgi sahibi değildir. Aracın fiyatın belirlenmesinde birçok faktör bulunmaktadır. Aracın yakıt türü, vites tipi, markası, modeli, hasar durumu, yaşı ve kaporta durumu gibi özellikleri bu faktörlerden bazılarıdır. Otomotiv sektörü, ekonomide yeri oldukça önemli bir konumda olan bir sektördür. Otomobil, motorlu araç üretim sektöründe 70 gibi büyük bir orana sahiptir. Bu bilgiler ışığında otomobil endüstrisinin, dünya ekonomisindeki payının büyüklüğü anlaşılabilir [2].

Son yıllarda teknolojinin gelişmesiyle beraber veri kolayca toplanabilmektedir. Bu sayede veri depolama sistemlerinde geçmişe göre çok daha fazla veri tutulmaktadır ve depolanmaktadır. Veri madenciliği sayesinde tutulan verilerden anlamlı bilgiler çıkarılmakta ve çıkarılan bu bilgiler sayesinde karar alma süreçlerinde daha verimli hareket edilmektedir [3].

Bu çalışmada, Doğrusal (Linear) regresyon, Rastgele Orman (Random Forest) regresyon, Ağaç Topluluğu (Tree Ensemble) ve Gradyan Artırıcı (GBoosted) makine öğrenme algoritmaları kullanılarak KNIME aracı ile ikinci el araç ilanlarından yararlanılarak aracın fiyatı tahmin edilmiştir. İkinci el araç verileri Türkiye'deki ikinci el araç ilanlarının yayınlandığı siteden temin edilmiştir. Ham veri seti veri temizleme, dönüştürme gibi veri ön işleme adımlarından geçmiştir. Veri ön işleme adımından sonra veriler kendi arasında analiz edilmiş ve paylaşılmıştır. Elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve ikinci el araç fiyatını belirlemedeki en doğru fiyat tahmini veren algoritma belirlenmiştir.

Makalenin birinci bölümünde ilgili çalışmaların araştırılmasına yer verilmiştir. İkinci bölümde kullanılan materyal ve metodlar hakkında bilgiler verilmiştir ve veri seti tanıtılmıştır. Üçüncü bölüm olan uygulama bölümünde ise, veri ön işleme adımları ve elde edilen analiz sonuçları, KNIME ortamında uygulamanın adımları detaylı olarak anlatılmıştır. Dördüncü bölümde, KNIME aracı ile uygulanan makine öğrenmesi algoritmalarının gerçekleştirilmesi ve sonuçlarına yer verilmiştir.

2. İlgili Çalışmaların Araştırılması

Bu kısımda, 2000-2020 yılları arasındaki ilgili çalışmalar araştırılmıştır.

Pazarlıoğlu ve Gunes (2000), çalışmalarında hedonik fiyat modeli oluşturup üzerine tartışmışlardır. Deneysel analiz sonuçlarını paylaşmışlardır. Bulanık hedonik model ve normal model tahminleri karşılaştırılmıştır. Yüksek düzeyde bilgi sağlayan en iyi bilgi birleştirme yöntemi belirlenmiştir [4].

Asilkan ve Irmak (2009), ikinci el araç fiyatının güncel ve gelecekteki fiyatını tahmin edebilmek için makine öğrenmesi yöntemlerinden Yapay Sinir ağları ile çalışmışlardır. Verileri ikinci el araç satış sitesinden elde etmişlerdir. YSA sonuçlarını zaman serisi analizleri ile elde ettikleri sonuçlarla kıyaslamışlardır. Çalışma sonucunda Yapay Sinir Ağları'nın tahminleme de başarılı ve güvenilir sonuçlar verdiği gözlenmiştir. YSA'nın otomobil sektöründe de kullanımını tavsiye etmişlerdir [5].

Namlı ve arkadaşları (2018) çalışmalarında, ikinci el araçlarda ikinci el araç satışlarında uygun bir fiyatlandırma yönteminin belirlenip belirlemeyeceğini araştırmışlardır. İstatiksel yöntemlerden olan Doğrusal Regresyon ve makine öğrenme tekniklerinden Destek Vektör Makineleri, Yapay Sinir Ağları kullanmışlardır. Algoritmalar, doğruluğunu kanıtlamak amaçlı çapraz doğrulama ve veri bölme yöntemi ile çalışmışlardır. En yüksek başarıyı DVM algoritması ile elde etmişlerdir [6].

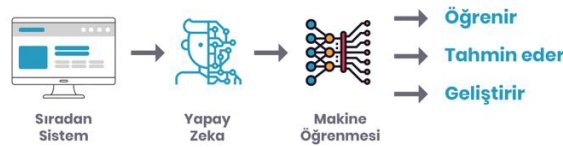
Pal ve arkadaşları (2018) çalışmalarında, ikinci el araba satış hacminin artmasıyla birlikte araç özelliklerine ve diğer araç fiyatlarına göre fiyat ataması yapabilmeyi amaçlamışlardır. Makine öğrenmesi gözetimli öğrenme yöntemlerinden olan Rastgele Orman (Random Forest) kullandılar. Eğitim için 500 karar ağacı oluşturdular. Eğitim doğruluğunu 95,82 ve test doğruluğunu 83,63 olarak elde ettiler [7].

Çelik ve Osmanoğlu (2019), ikinci el araç pazarında hızlı satış yapabilmek, doğru fiyatlandırma yapma amaçlı ideal fiyatı makine öğrenme yöntemleri ile yakalamaya çalışmışlardır. İkinci el otomobile ait 5041 adet veri setindeki 78 değişkenden 23'ü belirleyerek model oluşturdu ve makine öğrenmesi tahminleme modelinin başarısının oranını 81,15 olarak elde ettiler. Daha fazla özneliğe sahip veri seti ile daha iyi tahmin oranlarının ortaya çıkabileceğini savunmuşlardır [8].

3. Kullanılan Materyal ve Metotlar

3.1. Makine Öğrenmesi

Yapay zekanın alt alanı olan makine öğrenmesi son yıllarda artan veri miktarıyla birlikte birçok alanda uygulanmaktadır ve başarılı sonuçlar elde edilmektedir. Makine öğrenmesi geçmiş veri deneyimlerini kullanarak öğrenme ve geliştirme odaklı yeni veriye en uygun modeli istatistiksel ve algoritmalar ile bulmaya çalışır. Temel çalışma prensibi, bilinen veri üzerinden bilinmeyen veri üzerinde çıkarım yapma üzerinedir. Makine öğrenmesinin çalışma mantığı Şekil 1'de görüldüğü gibidir. Makine öğrenmesindeki amaç, veri ve deneyimden faydalanarak bilgisayara insan beynine benzer bir öğrenme yeteneği kazandırmaktır. Sınıflandırma, kümeleme ve tahmin gibi problem çeşidine göre makine öğrenme yöntemleri vardır.



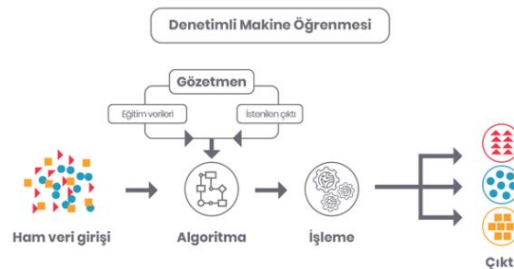
Şekil 1. Makine öğrenmesi

Makine öğrenmesi algoritma türleri;

- Denetimli (Supervised) Öğrenme,
 - Regresyon,
 - Sınıflandırma,
- Denetimsiz (Unsupervised) Öğrenme,
 - Kümeleme,
 - Boyut Azaltma
- Takviyeli – Pekiştirmeli (Reinforcement) Öğrenme

olmak üzere üç gruba ayrılır.

Gözetimli öğrenme, girdi ve çıktının arasındaki ilişkiyi öğrenmek amaçlı etiketli verilerle çalışır. Eğitim ve test kümesi oluşturularak eğitim gerçekleşir. Şekil 2'de gözetimli öğrenmenin işleyişi görüldüğü gibidir. Sınıflandırma ve regresyon problemleri için kullanılır. En yoğun kullanılan gözetimli öğrenme algoritmaları Destek Vektör Makineleri, Karar ağaçları ve Doğrusal Regresyondur.



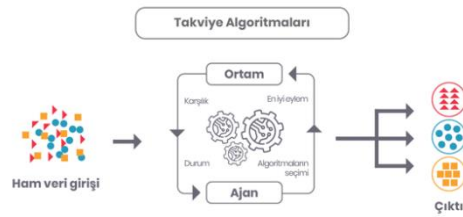
Şekil 2. Denetimli makine öğrenmesi

Gözetimsiz öğrenme, etiketsiz veri üzerinden algoritmalar kullanarak bağımsız olarak yapıları tahmin etmeye çalışır. Gözetimsiz öğrenme, veri setindeki verilerin arasındaki benzerliği veya desenleri keşfeder. Modelleri kümeler, ilişkilendirir ve boyut azaltma gibi işlevleri vardır. Şekil 3'te gözetimsiz öğrenmenin işleyişi görüldüğü gibidir.



Şekil 3. Denetimsiz makine öğrenmesi

Takviyeli öğrenme ise, oyunlarda, kontrol sistemlerinde veya robotiklerde karar verme veya karmaşık problemlerin çözümünde hangi eylemin en iyi sonuç verdiğini deneme yanılma yöntemini kullanarak çözmeye çalışır. Belirli bir ortamda hedefi en iyi şekilde gerçekleştirmeyi öğrenmeyi hedefler. Bir ajan vardır ve bu ajan bir durum karşısında aksiyon seçer ve belirli olan ortamdan buna karşılık ödül ya da ceza alır, yeni aksiyona geçer. Bu adımları tekrarlayarak en iyi aksiyonları seçmeyi öğrenir. Şekil 4'te takviyeli öğrenme işleyişi görülebilir.



Şekil 4. Takviyeli makine öğrenmesi

3.2. Makine Öğrenmesi Algoritmaları

Problem yaklaşımlarına göre Naive Bayes, M5, K-Means, Doğrusal (Linear) Regresyon, C4.5 ve Rastgele Orman (Random Forest) gibi birçok makine öğrenmesi algoritmaları bulunmaktadır.

Bu çalışmada Doğrusal (Lineer) Regresyon, Rastgele Orman (Random Forest) algoritması, Gradyan Artırıcı (Gradient Boosting) ve Ağaç Topluluğu (Tree Ensemble) algoritmaları denenmiştir. Veri, 20% doğrulama, 80% eğitim verisi olacak şekilde modelin başarısını ölçmek için ayrılmıştır. Sonuçlar makalenin sonuç kısmında verilmiştir.

Model başarısını ölçmek için farklı parametreler bulunmaktadır. Bu çalışmada R^2 değeri, MAE (Ortalama Mutlak Hata) ve RMSE (Ortalama Karese Hatanın Karekökü) parametreleri ile model performansı değerlendirilmiştir. R^2 değeri, 0,8'den büyük ise model uyumu güçlü, 0,5'ten küçük ise zayıf olarak değerlendirilmektedir. Yani modelimiz ne kadar 1'e yakın ise model başarısı o kadar yüksektir.

3.2.1. Doğrusal (Linear) Regresyon

Bağımlı değişken ile bir veya birden fazla bağımsız değişken arasında bir desen kurmayı amaçlar. Bilinen veriyle bilinmeyen veriyi analiz eder.

3.2.2. Rastgele Orman (Random Forest) Algoritması

Rastgele Orman algoritması, 2001 yılında Leo Breiman tarafından geliştirildi. Hızlı çalışan, başarılı çıktılar veren ve yoğun olarak regresyon ve sınıflandırma problemlerinde kullanılan bir algoritmadır [9].

Random Forest, veriyi rastgele parçalara böler. Birden fazla karar ağacını bir araya getirir ve ağaçlar arası rastgelelik ve çeşitlilik oluşturarak tahminde bulunmaya çalışır. Random Forest'in diğer ağaçlardan farkı çok sayıda karar ağacı oluşturmaktır. Bu ağaçları birleştirerek değerlendirme yapabilme yeteneğine sahiptir [10].

3.2.3. Gradyan Artırıcı Ağaç (GBoosted) Algoritması

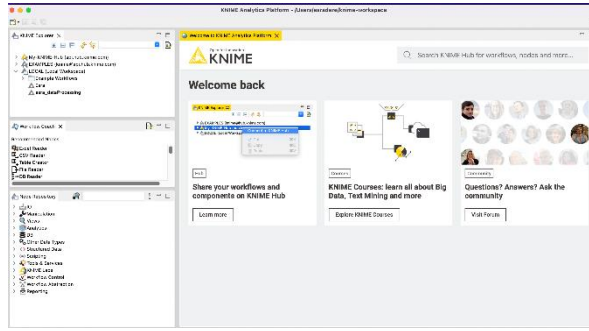
Jerome H. Friedman tarafından bulunan Gradyan Artırıcı (GBoosted) Ağaç, sınıflandırma ve regresyon problemlerinde kullanılan karar ağacı temelli bir algoritmadır. Karmaşık ilişkileri yakalar ve bu ilişkilerle doğru tahminler elde etmeye çalışır. Gradyan Artırıcı Ağaç algoritması ile zayıf tahmin modellerini sıralı olarak birleştirir ve bunlarla güçlü tahmin modellerine dönüştürmeyi hedefler. Her birleştirilen zayıf tahmin ağacı bir önceki ağacın hatasını en aza indirir. Yüksek tahmin performansına sahiptir.

3.2.4. Ağaç Topluluğu (Tree Ensemble)

Ağaç Topluluğu (Tree Ensemble), başarılı bir tahmin modeli oluşturmak için birden fazla karar ağacını birleştirir. Her bir ağaç kendi kararını verir. Sınıflandırma ve regresyon problemlerinde kullanılır. Başarılı sonuçlar elde edilebilen bir makine öğrenmesi yöntemidir.

3.3. KNIME Platformu

KNIME, veriyi analiz etme, görselleştirme, makine öğrenmesi modellemesi, istatistiksel işlevler, tahminleme, kümeleme ve sınıflandırma gibi akışlarımızı yapmamızı sağlayan açık kaynak kodlu bir veri analitiği platformudur. KNIME, veri analiz adımlarının gerçekleştirilebilmesi, verilerin görselleştirilmesi gibi imkanları sağlayan veri keşif ortamıdır [11]. Şekil 5'te KNIME ortamı görülebilir.



Şekil 5. Knime ortamı

Düğümler aracılığıyla işlemler gerçekleştirilir. Bu düğümler analiz sürecini hızlandırır. Eklenen tüm düğümler sırasıyla çalışır ve her düğümün çıktısı görülebilir.

3.4. Veri Seti

Veri seti, Türkiye'deki aktif bir ikinci el araç pazarı olan sahibinden.com sitesinin ilanlarından Selenium test aracıyla 01.03.2023 ile 22.06.2023 tarihleri arasındaki veriler çekilerek MongoDB'ye yazılmıştır. Ham verilerin ön işleme Python kütüphaneleri ile gerçekleştirilmiştir. Veriler aracın fiyatını belirlemede önemli olan yaş, km bilgisi, modeli, markası, tramer kaydı, kasa tipi, gövde tipi gibi bilgileri içermektedir. Veri seti çekilirken aynı ilanı çekip çekmediği veri alınırken kontrol edilip veritabanına yazılmamaktadır. Fiyat belirlemede etkili olmayan ham veri seti üzerindeki kriterler çıkarılmıştır. Veri setinde eksik değer kontrolü, filtreleme gibi işlemler çalışma kısmında detaylandırılmıştır.

Tablo 1'de gösterilen ham veri setinin bir kısmı gösterilmiştir. Veri seti içerisinde 26.000 üzeri veri ve 28 öznitelik bulunmaktadır. Tabloda aracın markası, modeli, yılı, vitesi tipi, motor gücü, beygir gücü, kimden olduğu, durumu, gövde tipi, kilometre bilgisi, renk gibi bilgiler içermektedir. Ham veri setinde yer alan açıklama, url, açıklama gibi özellikler fiyat tahmininde etken olmadığı için öznitelikler arasından çıkarılmıştır. Veri setinde kullanılan özniteliklerin açıklamaları ve veri tipi Tablo 2'de verilmiştir.

İKİNCİ EL ARAÇ DEĞERLEMESİNDE MAKİNE
ÖĞRENME TEKNİKLERİNİN UYGULANMASI

E. DERE, M. C. KASAPBAŞI

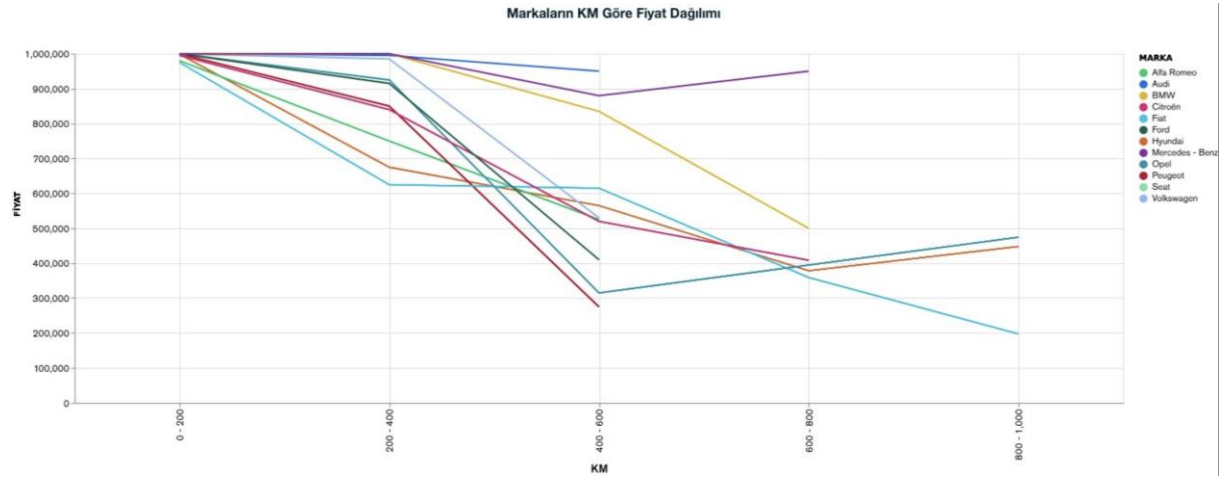
YaratılışTarihi	Marka	Seri	Model	Yıl	YakıtTipi	VitesTürü	Durumu	KM	GovdeTipi	MotorGucu	Çekis	Renk
21 Şubat 2023	Alion	S	580	2021	Elektrik	Otomatik	İkinci El	14500	Sedan	126 - 150 HP	Önden Çekiş	Beş
20 Şubat 2023	Alion	S	580	2021	Elektrik	Otomatik	İkinci El	6900	Sedan	126 - 150 HP	Önden Çekiş	Beş
15 Şubat 2023	Alion	S	580	2021	Elektrik	Otomatik	İkinci El	6800	Sedan	126 - 150 HP	Önden Çekiş	Beş
07 Şubat 2023	Alion	S	580	2021	Elektrik	Otomatik	İkinci El	6500	Sedan	126 - 150 HP	Önden Çekiş	Beş
03 Mart 2023	Alfa Romeo	Giulietta	1.4 TB MultiAir Distinctive	2011	Benzin	Manuel	İkinci El	94000	Hatchback 5 kapı	170 hp	Önden Çekiş	Gümüş Gri
21 Şubat 2023	Alfa Romeo	Giulietta	1.6 JTD Distinctive	2014	Dizel	Manuel	İkinci El	94000	Hatchback 5 kapı	105 hp	Önden Çekiş	Kırmızı
09 Mart 2023	Alfa Romeo	Giulietta	1.6 JTD Progression Plus	2014	Dizel	Manuel	İkinci El	154000	Hatchback 5 kapı	105 hp	Önden Çekiş	Beş
09 Mart 2023	Alfa Romeo	156	2.0 JTS Distinctive	2004	Benzin & LPG	Yan Otomatik	İkinci El	250000	Sedan	165 hp	Önden Çekiş	Siyah
09 Mart 2023	Alfa Romeo	159	1.9 JTD Distinctive Plus	2010	Dizel	Yan Otomatik	İkinci El	207550	Sedan	150 hp	Önden Çekiş	Gri
08 Mart 2023	Alfa Romeo	147	1.6 TS Distinctive	2006	Benzin & LPG	Manuel	İkinci El	169000	Hatchback 5 kapı	120 hp	Önden Çekiş	Siyah
08 Mart 2023	Alfa Romeo	147	1.6 TS Progression	2004	Benzin & LPG	Manuel	İkinci El	295000	Hatchback 5 kapı	120 hp	Önden Çekiş	Kırmızı
08 Mart 2023	Alfa Romeo	Giulietta	1.6 JTD Progression Plus	2015	Dizel	Manuel	İkinci El	249000	Hatchback 5 kapı	105 hp	Önden Çekiş	Beş
08 Mart 2023	Alfa Romeo	147	1.6 TS Distinctive	2006	Benzin & LPG	Manuel	İkinci El	235000	Hatchback 5 kapı	120 hp	Önden Çekiş	Gümüş Gri
08 Mart 2023	Alfa Romeo	146	1.4 TS	1998	Benzin & LPG	Manuel	İkinci El	244000	Hatchback 5 kapı	103 hp	Önden Çekiş	Bordo
08 Mart 2023	Alfa Romeo	Giulietta	1.6 JTD Distinctive	2015	Dizel	Manuel	İkinci El	235000	Hatchback 5 kapı	105 hp	Önden Çekiş	Beş
08 Mart 2023	Alfa Romeo	156	1.6 TS Distinctive	2004	Benzin	Manuel	İkinci El	246000	Sedan	120 hp	Önden Çekiş	Mavi
08 Mart 2023	Alfa Romeo	156	2.0 TS Executive	1999	Benzin & LPG	Manuel	İkinci El	241500	Sedan	155 hp	Önden Çekiş	Gümüş Gri
08 Mart 2023	Alfa Romeo	146	1.4 TS Ritmo	1999	Benzin & LPG	Manuel	İkinci El	220000	Hatchback 5 kapı	103 hp	Önden Çekiş	Kırmızı
08 Mart 2023	Alfa Romeo	156	1.6 TS Progression	2004	Benzin & LPG	Manuel	İkinci El	287000	Sedan	120 hp	Önden Çekiş	Füme
08 Mart 2023	Alfa Romeo	156	1.6 TS Distinctive	2005	Benzin & LPG	Manuel	İkinci El	234000	Sedan	120 hp	Önden Çekiş	Füme
08 Mart 2023	Alfa Romeo	Giulietta	1.4 TB MultiAir Distinctive	2013	Benzin	Yan Otomatik	İkinci El	85000	Hatchback 5 kapı	170 hp	Önden Çekiş	Lacivert
08 Mart 2023	Alfa Romeo	Giulietta	1.4 TB MultiAir Distinctive	2012	Benzin	Yan Otomatik	İkinci El	116000	Hatchback 5 kapı	170 hp	Önden Çekiş	Beş
08 Mart 2023	Alfa Romeo	Giulietta	1.4 TB MultiAir Distinctive	2011	Benzin	Manuel	İkinci El	79000	Hatchback 5 kapı	170 hp	Önden Çekiş	Siyah
03 Mart 2023	Alfa Romeo	Giulietta	1.4 TB MultiAir Distinctive	2011	Benzin	Manuel	İkinci El	94000	Hatchback 5 kapı	170 hp	Önden Çekiş	Gümüş Gri
21 Şubat 2023	Alfa Romeo	Giulietta	1.6 JTD Distinctive	2014	Dizel	Manuel	İkinci El	94000	Hatchback 5 kapı	105 hp	Önden Çekiş	Kırmızı
09 Mart 2023	Alfa Romeo	Giulietta	1.6 JTD Progression Plus	2014	Dizel	Manuel	İkinci El	154000	Hatchback 5 kapı	105 hp	Önden Çekiş	Beş
09 Mart 2023	Alfa Romeo	156	2.0 JTS Distinctive	2004	Benzin & LPG	Yan Otomatik	İkinci El	250000	Sedan	165 hp	Önden Çekiş	Siyah
09 Mart 2023	Alfa Romeo	159	1.9 JTD Distinctive Plus	2010	Dizel	Yan Otomatik	İkinci El	207550	Sedan	150 hp	Önden Çekiş	Gri
09 Mart 2023	Alfa Romeo	159	1.9 JTD Distinctive Plus	2010	Dizel	Yan Otomatik	İkinci El	207550	Sedan	150 hp	Önden Çekiş	Gri
08 Mart 2023	Alfa Romeo	147	1.6 TS Distinctive	2006	Benzin & LPG	Manuel	İkinci El	169000	Hatchback 5 kapı	120 hp	Önden Çekiş	Siyah
08 Mart 2023	Alfa Romeo	147	1.6 TS Progression	2004	Benzin & LPG	Manuel	İkinci El	295000	Hatchback 5 kapı	120 hp	Önden Çekiş	Kırmızı
08 Mart 2023	Alfa Romeo	Giulietta	1.6 JTD Progression Plus	2015	Dizel	Manuel	İkinci El	249000	Hatchback 5 kapı	105 hp	Önden Çekiş	Beş
08 Mart 2023	Alfa Romeo	147	1.6 TS Distinctive	2006	Benzin & LPG	Manuel	İkinci El	235000	Hatchback 5 kapı	120 hp	Önden Çekiş	Gümüş Gri
08 Mart 2023	Alfa Romeo	146	1.4 TS	1998	Benzin & LPG	Manuel	İkinci El	244000	Hatchback 5 kapı	103 hp	Önden Çekiş	Bordo
08 Mart 2023	Alfa Romeo	Giulietta	1.6 JTD Distinctive	2015	Dizel	Manuel	İkinci El	235000	Hatchback 5 kapı	105 hp	Önden Çekiş	Beş
08 Mart 2023	Alfa Romeo	156	1.6 TS Distinctive	2004	Benzin	Manuel	İkinci El	246000	Sedan	120 hp	Önden Çekiş	Mavi
08 Mart 2023	Alfa Romeo	156	2.0 TS Executive	1999	Benzin & LPG	Manuel	İkinci El	241500	Sedan	155 hp	Önden Çekiş	Gümüş Gri
08 Mart 2023	Alfa Romeo	146	1.4 TS Ritmo	1999	Benzin & LPG	Manuel	İkinci El	220000	Hatchback 5 kapı	103 hp	Önden Çekiş	Kırmızı
08 Mart 2023	Alfa Romeo	156	1.6 TS Progression	2004	Benzin & LPG	Manuel	İkinci El	287000	Sedan	120 hp	Önden Çekiş	Füme
08 Mart 2023	Alfa Romeo	156	1.6 TS Distinctive	2005	Benzin & LPG	Manuel	İkinci El	234000	Sedan	120 hp	Önden Çekiş	Füme
08 Mart 2023	Alfa Romeo	Giulietta	1.4 TB MultiAir Distinctive	2013	Benzin	Yan Otomatik	İkinci El	85000	Hatchback 5 kapı	170 hp	Önden Çekiş	Lacivert
08 Mart 2023	Alfa Romeo	Giulietta	1.4 TB MultiAir Distinctive	2012	Benzin	Yan Otomatik	İkinci El	116000	Hatchback 5 kapı	170 hp	Önden Çekiş	Beş
03 Mart 2023	Alfa Romeo	Giulietta	1.4 TB MultiAir Distinctive	2011	Benzin	Manuel	İkinci El	94000	Hatchback 5 kapı	170 hp	Önden Çekiş	Gümüş Gri

Tablo 1. Ham veri seti

Öz nitelik	Veri Türü	Açıklaması
Kayıt Tarihi	Object	İlanın Veri Setine Kayıt Tarihi
Kod	Object	İlanın Kodu
Yaratılış Tarihi	Object	İlanın Oluşturulma Tarihi
Marka	Object	Aracın Markası
Seri	Object	Aracın Model Serisi
Model	Object	Aracın Modeli
Yıl	Int64	Aracın Üretim Yılı
Yakıt Tipi	Object	Aracın Yakıt Tipi
Vites Tipi	Object	Aracın Vites Tipi
Durumu	Object	Aracın Durumu (İkinci El/Sıfır)
KM	Float64	Aracın kilometresi
Kasa Tipi	Object	Aracın Kasa Tipi
Motor Gücü	Object	Aracın Motor Gücü
Çekis	Object	Aracın Çekişi
Renk	Object	Aracın Rengi
Garantili Mi	Object	Aracın Garanti Durumu
Ağır Hasarlı Mi	Object	Aracın Ağır Hasarlı Olup/Olmadığı
Plaka	Object	Aracın Plaka Uyuşuğu
Takas Durumu	Object	Aracın Takas Durumu
Fiyat	Float64	Aracın Fiyatı
Satıcı Tipi	Object	Aracın Kimden Olduğu
Satıcı	Object	İlan Sahibi Bilgileri
Adres	Object	İlanın Yayınlandığı İl, İlçe, Mahallesi
Açıklama	Object	İlanın Açıklaması
Resim	Object	Aracın Resimleri
Url	Object	İlan Linki

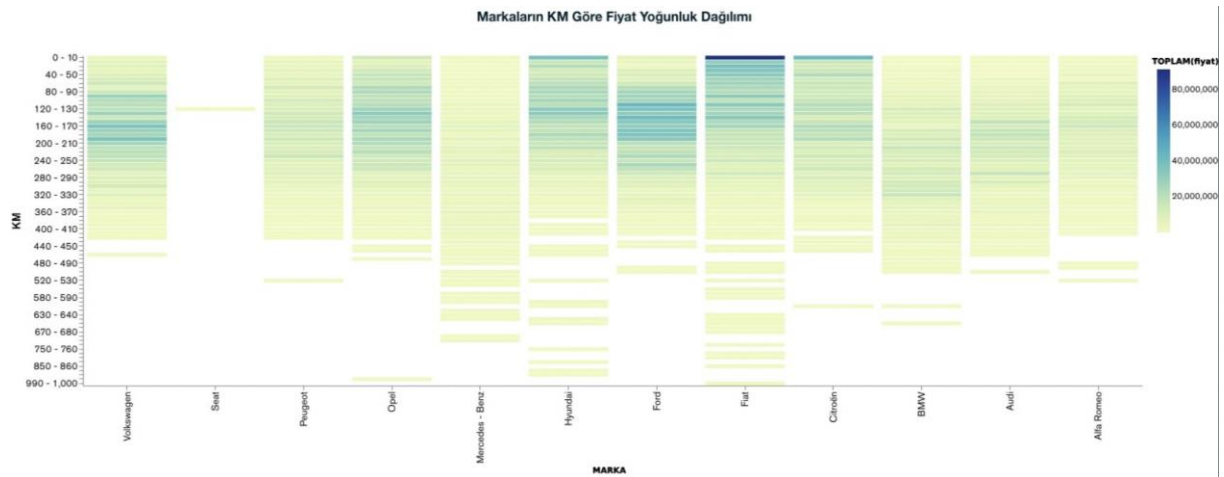
Tablo 2. Veri detayları

Ham veri setinde veri ön işleme adımından önce fiyat hesaplama da etken olan öz niteliklerle keşifsel veri analizi yapılmıştır. Şekil 6'da markaların km'ye göre dağılımı verilmiştir. Araç markaları incelendiğinde km arttıkça ücretin arttığı gözlemlenmektedir.



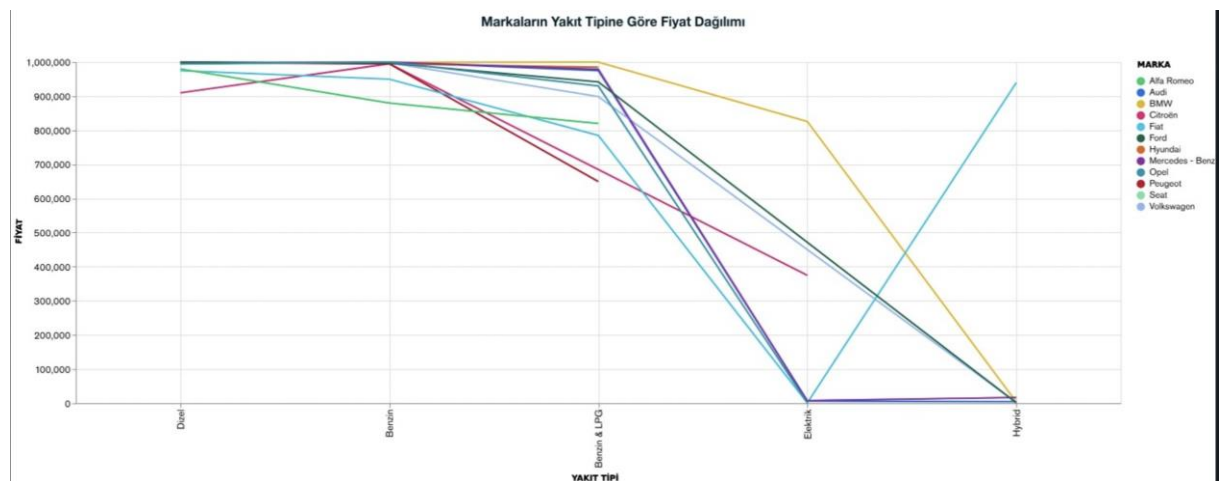
Şekil 6. Km- Fiyat analizi

Şekil 7’de markaların km’ye göre yoğunluk dağılımı verilmiştir. Araç markalarının kmsi arttıkça fiyatının arttığı gözlemlenmektedir.



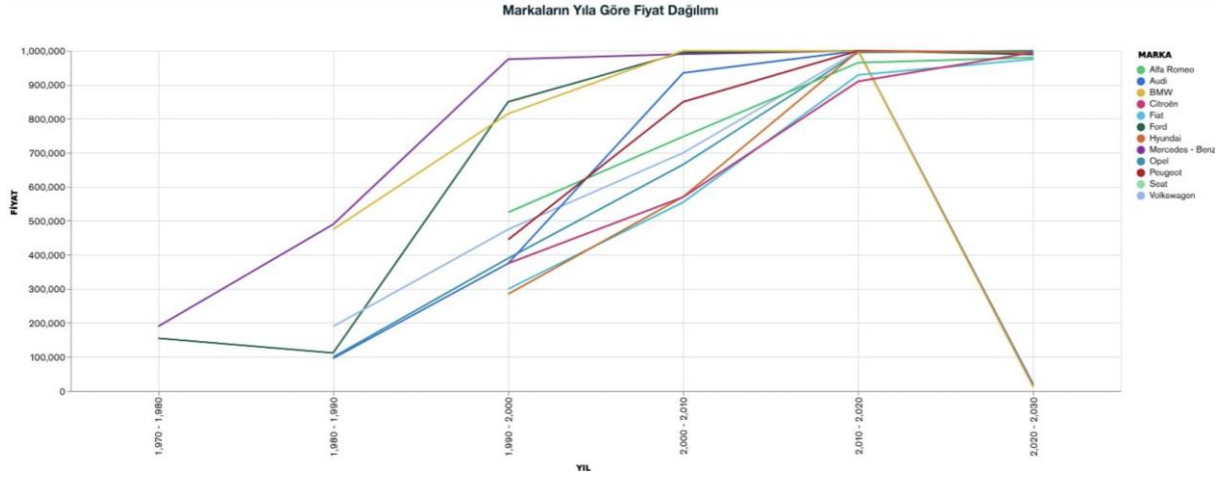
Şekil 7. Marka – Km yoğunluk dağılımı

Şekil 8’de markaların yakıt tipine göre fiyat dağılımı verilmiştir. BMW gibi araç markalarında yakıt tipi benzin olanın fiyatı yüksekken, Fiat araç markasında yakıt tipi elektrikli olan aracın ücretinin daha yüksek olduğu gözlemlenebilir.



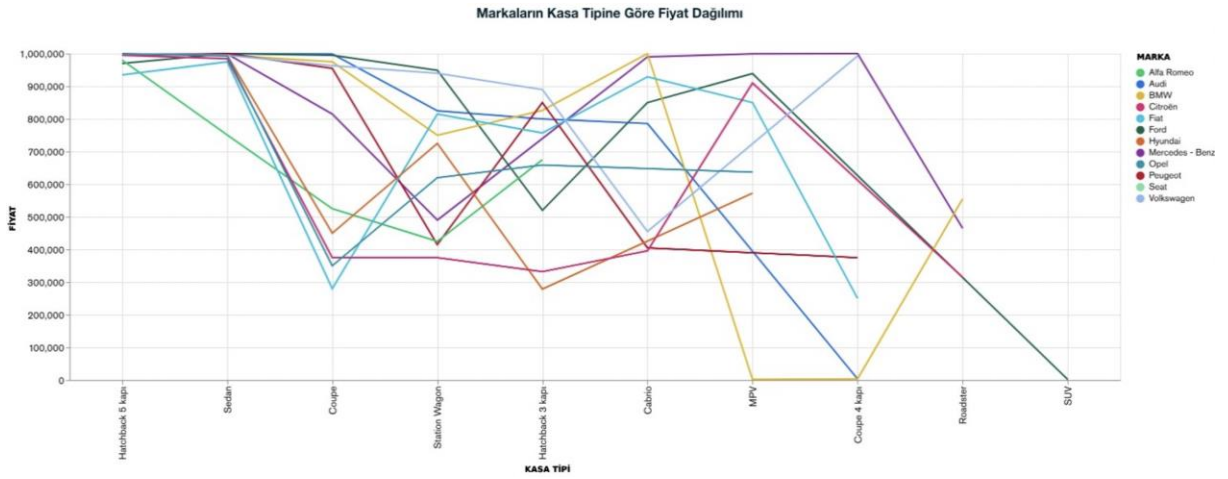
Şekil 8. Marka – Yakıt Tipi fiyat dağılımı

Şekil 9’da yıl arttıkça markaların fiyatlarının arttığı gözlemlenmektedir.



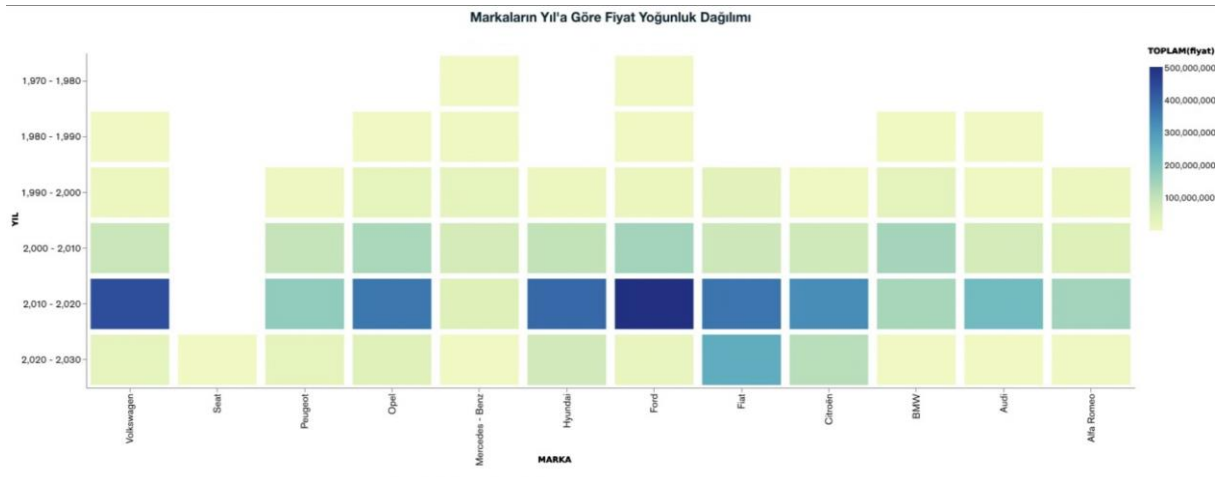
Şekil 9. Markaların yıla göre fiyat dağılımı

Şekil 10'da ise kasa tipine göre araç markalarının fiyatına etki ettiği gözlemlenmektedir.



Şekil 10. Marka – Kasa Tipi dağılımı

Şekil 11'de ise markaların yıl içindeki fiyat yoğunluk dağılımı gözlemlenmektedir.

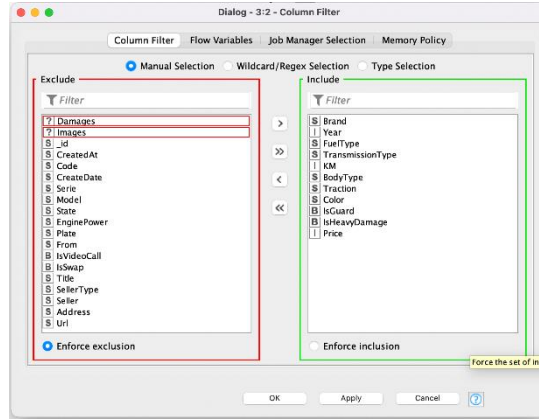


Şekil 11. Marka – Yıl ücret yoğunluk dağılımı

4. Uygulama

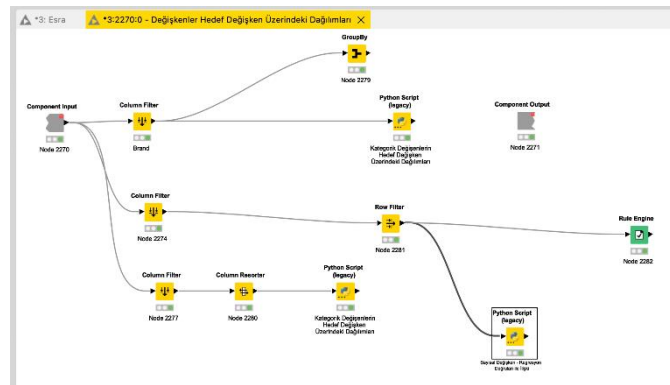
Türkiye'deki e-ticaret sitesinin ilanlarından elde edilen ham veri seti KNIME ortamında veri ön işleme adımlarından geçmiştir. Veri ön işleme adımından sonra aracın değerlemesinde etkili olan bağımsız özniteliklerle bağımlı öznitelik olan hedef değişken fiyat arasındaki ilişkiler incelenmiştir.

KNIME ortamında, excel olarak çıktısı alınmış ham veri seti 'File Reader' düğümü kullanılarak ortama yüklenir. File Reader'a sağ tıklanarak yüklenen veriler gözlemlenebilir. Veri setinde yer alan özniteliklerin hepsi fiyata etki etmediği için fiyat tahminini etkilemeyecek özniteliklerin kaldırılması için 'Column Filter' düğümü uygulanır. Şekil 12'de 'Column Filter' düğümü görülebilir.



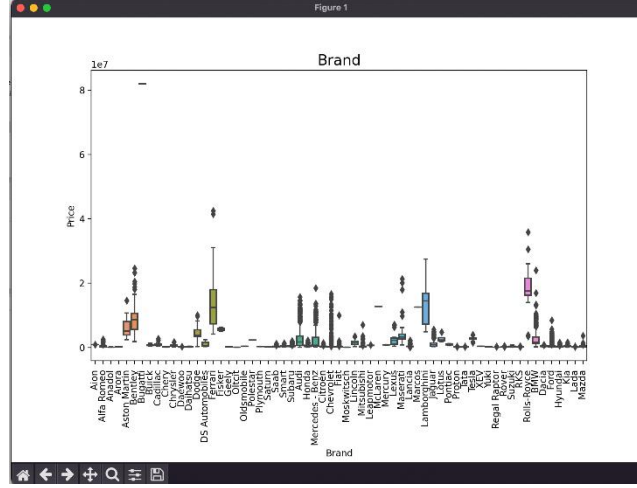
Şekil 12. Sütun Filtresi (Column Filter) düğümü

Sütun filtresi çalıştırdıktan sonra özniteliklerin hedef değişken üzerindeki dağılımı incelemek üzere ve 'Rule Engine' düğümü kullanılarak yeni öznitelik oluşturmak için Şekil 13'te yer alan 'Değişkenler hedef değişken üzerindeki dağılımları' isimli bileşen oluşturulur.



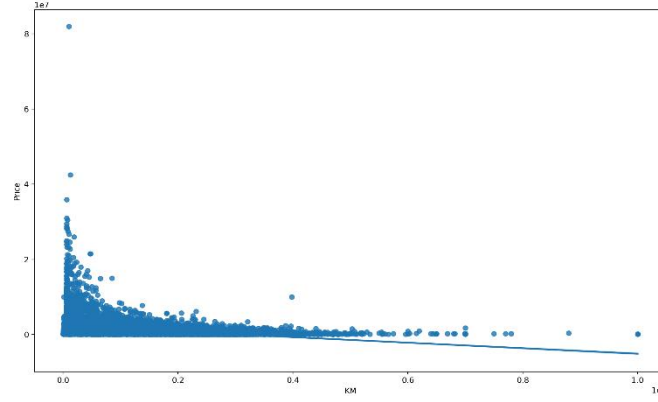
Şekil 13. Değişkenler hedef değişken üzerindeki dağılımları bileşeni

Burada ilk sütun filtresinde marka ve fiyat kolonları alınarak aralarında ilişki Python kütüphanesi olan BoxPlot ile grafikselleştirilmiştir. Şekil 14'te yer alan grafik incelendiğinde fiyatları birbirine yakın araç markalarının gruplanabilir olduğu gözlenmektedir.



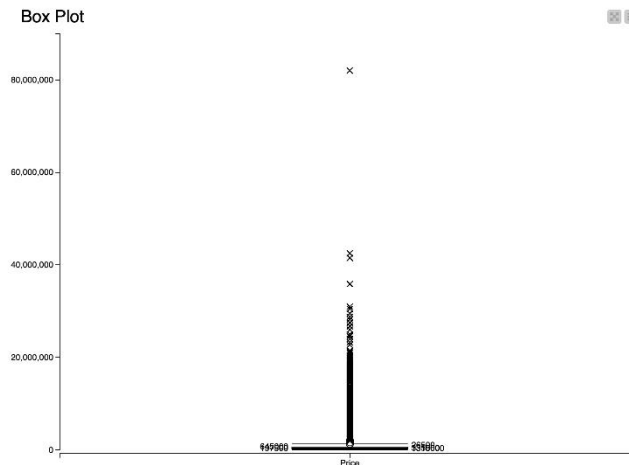
Şekil 14. Marka (Brand) – Fiyat (Price) analizi

İkinci sütun filtresin de km ve fiyat kolonları alınmıştır. Km kolonunda eksik veri kontrolü 'Row Filter' düğümü çalıştırılmış, km-fiyat arasındaki ilişki Python kütüphanesi olan BoxPlot ile grafikleştirilmiştir. Çıkan sonuca göre aracın kmsi artıkça araç değerinin düştüğü Şekil 15'te görüldüğü gibidir.

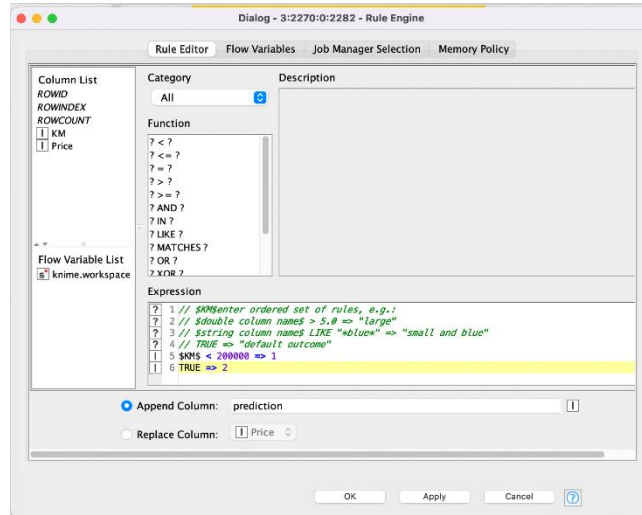


Şekil 15. Km- Fiyat dağılımı

İlk aşamada yer alan 'Column Filter' düğümü adımından sonra 'Box Plot' düğümü bağlanıp çalıştırıldığında veri setinde aykırı değerler(outliers) tespit edilmiştir. Şekil 16'da aykırı değer tespiti görülebilir. Aykırı değerler 'Rule Engine' düğümü ile fiyat tahminine etkisi en aza indirgenmiştir. Şekil 17'de 'Rule Engine' düğümü görülebilir.

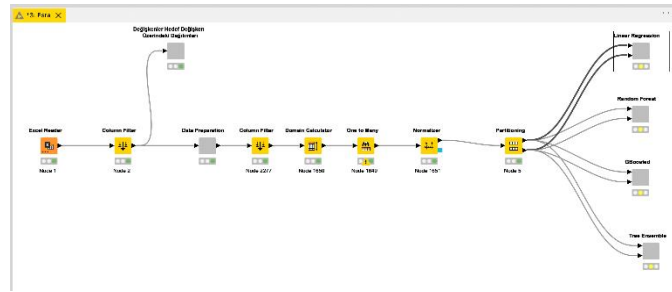


Şekil 16. Aykırı değerlerin tespiti



Şekil 17. Kural Motoru (Rule Engine) düğümü

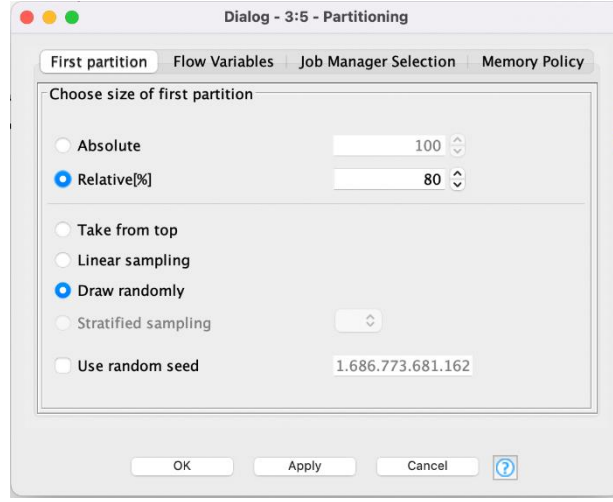
Bu bileşenin çalıştırılmasından sonra Şekil 18’de yer alan düğümler sırasıyla çalıştırılır.



Şekil 18. Uygulama

- Data Preparation düğümü:
Verilerin hazırlanma kısmıdır. Eksik, kirli ve gürültülü verilerin temizlenme aşamasıdır.
- Domain Calculator düğümü:
Bellekteki verileri temizler.
- One to Many düğümü:
Veri setindeki değerleri kategorikten nümerik değerlere çevirir.
- Normalizer düğümü:
Sayının bulunan minimum değer ile farkını alır. Sayının o kolondaki min ve max sayı farkına böler ve normalize eder.
- Partitioning düğümü:
Verilerin eğitim ve test olarak ayrılmasını sağlar.

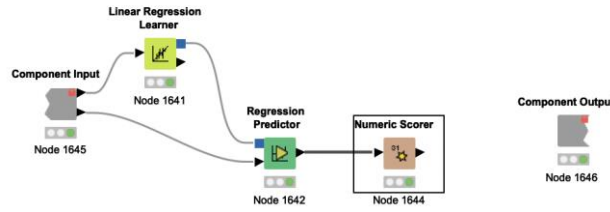
Şekil 19’da veri setinin eğitim ve test olarak ayrıştırılmasına ilişkin görseli verilmiştir.



Şekil 19. Veri setinin eğitim test olarak ayrıştırılması

Veri eğitim ve test dasetine ayrıştırıldıktan sonra metot ve yöntemlerde anlatılan algoritmalar sırasıyla uygulanmıştır.

- Doğrusal (Linear) Regresyon algoritmasının düğümü Şekil 20’de görüldüğü gibidir.



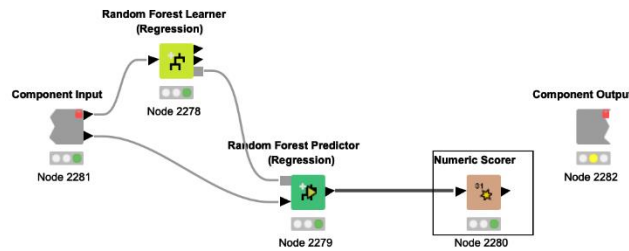
Şekil 20. Doğrusal (Linear) regresyon düğümü

- Tablo 3’te Doğrusal (Linear) regresyonun istatistiksel çıktısı görülebilir.

R^2	0,608
Ortalama Mutlak Hata (MAE)	683.99,02
Ortalama Karesel Hata (MSE)	1.793.888.748.666,89
Kök Ortalama Kare Hatası (RMSE)	1.339.361,32
Ortalama İşaretli Fark (MSD)	-131.103,80
Ortalama Mutlak Yüzde Hatası (MAPE)	1,81
Ayarlanmış (Adjusted)	0,61

Tablo 3. Doğrusal (Linear) Regresyon sonucu

- Rastgele Orman (Random Forest) düğümü Şekil 21’te görüldüğü gibidir.



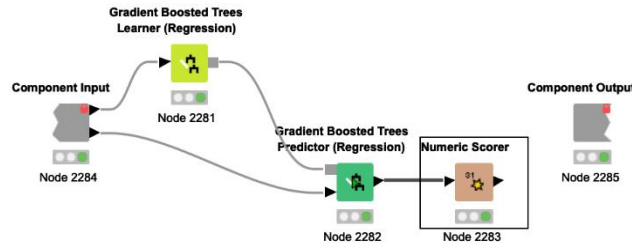
Şekil 21. Rastgele Orman (Random Forest) düğümü

- Tablo 4'te Rastgele Orman algoritmasının istatistiksel çıktısı görülebilir.

R^2	0,85
Ortalama Mutlak Hata (MAE)	255.218,10
Ortalama Karesel Hata (MSE)	686.356.290.885,87
Kök Ortalama Kare Hatası (RMSE)	828.466,23
Ortalama İşaretli Fark (MSD)	6.865,11
Ortalama Mutlak Yüzde Hatası (MAPE)	0,33
Ayarlanmış (Adjusted)	0,85

Tablo 4. Rastgele Orman (Random Forest) sonucu

- Gradyan Artırıcı (GBoosted) algoritmasının detayı Şekil 22'te görüldüğü gibidir.



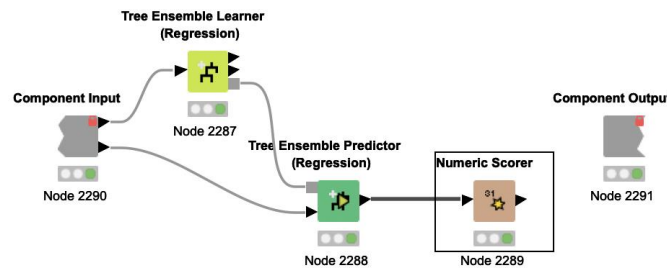
Şekil 22. Gradyan Artırıcı (GBoosted) düğümü

- Tablo 5'te Gradyan Artırıcı (GBoosted) algoritmasının istatistiksel çıktısı görülebilir.

R^2	0,815
Ortalama Mutlak Hata (MAE)	266.626,34
Ortalama Karesel Hata (MSE)	846.837.247.920,42
Kök Ortalama Kare Hatası (RMSE)	920.237,60
Ortalama İşaretli Fark (MSD)	-59.657,90
Ortalama Mutlak Yüzde Hatası (MAPE)	0,29
Ayarlanmış (Adjusted)	0,82

Tablo 5. Gradyan Artırıcı (GBoosted) sonucu

- Ağaç Topluluğu (Tree Ensemble) algoritmasının detayı Şekil 23'te görüldüğü gibidir.



Şekil 23. Ağaç Topluluğu (Tree Ensemble) düğümü

- Tablo 6’da Ağaç Topluluğu (Tree Ensemble) algoritmasının istatistiksel çıktısı görülebilir.

R^2	0,826
Ortalama Mutlak Hata (MAE)	253.209,48
Ortalama Karesel Hata (MSE)	694.143.099.874,02
Kök Ortalama Kare Hatası (RMSE)	833.152,51
Ortalama İşaretli Fark (MSD)	38.585,23
Ortalama Mutlak Yüzde Hatası (MAPE)	0,332
Ayarlanmış (Adjusted)	0,826

Tablo 6. Ağaç Topluluğu (Tree Ensemble) sonucu

5. Sonuç ve Öneri

Bu çalışmada elde edilen ham veri, veri ön işleme adımları ile temizlenmiş ve analiz edilmiştir. İkinci el aracın fiyatını tahmin etmek için makine öğrenmesi yöntemlerinden Doğrusal (Linear) Regresyon, Rastgele Orman (Random Forest), Gradyan Artırıcı (GBoosted), Ağaç Topluluğu (Tree Ensemble) yöntemleri kullanılmıştır. Çalışma, KNIME Analytics Platform veri madenciliği programının 4.7.3 sürümünde uygulanmıştır. Uygulanan algoritmaların başarısını ölçmek için R^2 performans metriği kullanılmıştır. Doğrusal regresyon 0,56 R^2 ile en düşük tahmin oranını vermiş olup, Rastgele Orman (Random Forest) 0,83 R^2 , Gradyan Artırıcı (GBoosted) 0,81 R^2 ve Ağaç Topluluğu (Tree Ensemble) 0,82 R^2 oranları Tablo 7’de görüldüğü gibidir.

Algoritmalar	R^2
Doğrusal (Linear) Regresyon	0,56
Rastgele Orman (Random Forest)	0,83
Gradyan Destekli (GBoosted)	0,81
Ağaç Topluluğu (Tree Ensemble)	0,82

Tablo 7. Tahmin sonuçları

Öneri olarak ikinci el araç satışlarında hem alıcıya hem de satıcıya gerçek fiyatlar sunmayı amaçlayan bu çalışma daha fazla veri setiyle geliştirilebilir. Makine öğrenme yöntemlerinden olan Yapay Sinir Ağları ile tahminleme yapılarak daha başarılı sonuçlar elde edilebilir.

REFERANSLAR

1. Asilkan, Ö.& Irmak, S., “İkinci El Otomobillerin Gelecekteki Fiyatlarının Yapay Sinir Ağları ile Tahmin Edilmesi”, Suleyman Demirel University The Journal of Faculty of Economics and Administrative Sciences, No.2 pp.375-391, 2009
2. Breiman, L, RANDOM FORESTS Leo. 1–33. <https://odayibasi.medium.com/> (17.06.2023)
3. Çelik, Ö. & Osmanoğlu, Ö., “Prediction of The Prices of Second-Hand Cars”, European Journal of Science and Technology, No. 16, pp. 77-83, August 2019
4. Ecer, Fatih, “Türkiye’de 2. El Otomobil Fiyatının Tahmini ve Fiyat Belirleyicilerinin Tahmini”, Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 13(4), 101-112, 2013
5. Elshawi R., Sakr S., Talia D., Trunfio P., Big Data Systems Meet Machine Learning Challenges: Towards Big Data Science as a Service, Big Data Research, 14, 1–11, 2018
6. LEE J., Empirical Analysis of Wholesale Used Car Auctions, A Dissertation in University of California, 2006, 120-121, 2001
7. Namlı, E. & Ünlü, R. & Gül, E., “Fiyat Tahminlemede Makine Öğrenmesi Teknikleri ve Doğrusal Regresyon Yöntemlerinin Kıyaslanması; Türkiye’de Satılan İkinci El Araç Fiyatlarının Tahminlenmesine Yönelik Bir Vaka Çalışması”, Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi, c.7, s.4, ss. 806-821, 2019
8. ONAT, M. G. Otomotiv Sektöründe Oranlar Yöntemi Aracılığı ile Finansal Analiz, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul 2007
9. Özdemir, S., Potential Distribution Modelling and Mapping Using Random Forest Method: an Example of Yukarıgökdere District. Turkish Journal of Forestry | Türkiye Ormancılık Dergisi, (April), 51–56. <https://doi.org/10.18182/tjf.342504>, 2018
10. Pazarlıoğlu, M. V. & Gunes, M., “The Hedonic Price Model for Fusion on Car Market”, International Conference of Information Fusion, Paris, France, 4-13, <http://ieeexplore.ieee.org/document/862707/>, (Erişim:20.08.2016), 2000
11. Tekerek, A., Veri Madenciliği Süreçleri ve Açık Kaynak Kodlu Veri Madenciliği Araçları. Akademik Bilişim’11- XIII. Akademik Bilişim Konferansı Bildirileri, İnönü Üniversitesi, Malatya, ss.161-169, 2011

İNTERNET KAYNAKLARI

<https://www.turhost.com/blog/makine-ogrenmesi-machine-learning-nedir/#serp>, Erişim Tarihi:05.06.2023

Not: Bu makale, İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı’nda, Doç. Dr. Mustafa Cem Kasapbaşı danışmanlığında, Esra Dere tarafından yürütülecek olan, “İkinci El Araç Değerlemede Makine Öğrenme Tekniklerinin Uygulanması” başlıklı yüksek lisans tezinin ön çalışmalarından yararlanılarak hazırlanmıştır.


{Bu sayfa özellikle boş bırakılmıştır}

Araştırma Makalesi/Derleme Makalesi

CRITIC ve WASPAS Yöntemleri Kullanılarak Türkiye İçin En Uygun Yenilenebilir Enerji Kaynağının Seçimi

Tuğba AYDIN[†], Sibkat KAÇTIOĞLU^{††}[†] İstanbul Ticaret Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği, İstanbul, Türkiye^{††} İstanbul Ticaret Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği, İstanbul, Türkiye

tugbaaydin1903@yahoo.com, skactioglu@ticaret.edu.tr

 0000-0002-1313-795X, 0000-0002-8529-3775

ÖZET

Yenilenebilir Enerji kaynağı bakımından zengin olarak tanımlanan ülkemizin, enerji kaynağı noktasında dışa bağımlılığının en aza indirilmesi ve mevcut olan yenilenebilir enerji kaynaklarının bölgesel olarak en verimli şekilde kullanılabilmesi önem arz etmektedir.

Bu çalışmanın konusu Türkiye için en uygun yenilenebilir enerji kaynağının tespitinde çok kriterli karar yöntemlerinin kullanılması ile en uygun kaynağın tespitini yapabilmek, yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş, rüzgâr, jeotermal, hidroelektrik, biyokütle ve dalga olmak üzere altı enerji türü için karşılaştırma amaçlı uygunluk kriterlerini tespit edebilmek ve bu kriterlere ilişkin verileri doğru bir şekilde toparlayarak, çok kriterli karar verme yöntemlerinden CRITIC, WASPAS metodlarını bu veriler üzerinde uygulayarak örnek bir model oluşturmak ve uygulama sonucunda oluşan sonuçları analiz ederek, gelecekteki enerji yatırımları için bir değerlendirme kolaylığı sağlamaktır.

Hesaplamalarımızın sonunda dalga enerjisi en yüksek WASPAS puanına sahip enerji kaynağı olarak belirlenmiştir (0,413). Rüzgâr enerjisi (0,327) ve jeotermal enerji (0,313) sırasıyla ikinci ve üçüncü sıralarda yer almaktadır. Hidroenerji (0,286), güneş enerjisi (0,286) ve biyokütle enerjisi (0,257) ise daha düşük WASPAS puanlarına sahip enerji kaynaklarıdır. Fakat, oluşan sıralama başka faktörlere göre de değişebilir.

Başka kaynakları da hesaba katılırsa sonuçlar farklı çıkabilir. Her ülkenin, her bölgenin farklı enerji ihtiyaçları ve kaynakları vardır. Bu yüzden, karar vericiler, bu faktörleri de dikkate alarak, kendi koşullarına göre en uygun yenilenebilir enerji kaynaklarını seçmek için birden fazla kriteri dikkate almalıdır.

Anahtar Kelimeler: CRITIC, Çok Kriterli Karar Verme, WASPAS, Yenilenebilir Enerji Seçimi

The Selection of Appropriate Renewable Energy Source For Turkey by Using CRITIC and WASPAS Methods

ABSTRACT

In our country, which is defined as rich in renewable energy resources, these are important; to be able to use the existing renewable energy sources in the most efficient way and minimize foreign dependency at the point of energy source.

The topic of this case is to be able to select the most appropriate renewable energy source for Türkiye by using multi-criteria decision methods, to be able to determine the eligibility criteria to compare six sorts of renewable energy sources which are solar, wind, geothermal, hydroelectric, biomass, wave and by collecting the correct data related to these criteria, to create a study case by applying CRITIC, WASPAS methods on these data and immediately afterward to analyze the results of application to be able to provide an ease of evaluation for energy investments which will be in the future.

Geliş/Received : 09.06.2023
Gözden Geçirme/Revised : 23.06.2023
Kabul/Accepted : 10.07.2023

At the end of our calculations, wave energy was determined as the energy source with the highest WASPAS score (0.413). Wind energy (0.327) and geothermal energy (0.313) ranked second and third, respectively. Hydro Energy (0.286), solar energy (0.286), and biomass energy (0.257) are energy sources with lower WASPAS scores. However, the ranking of results may vary according to other factors.

If other sources are taken into account, the results may be different. Because Every country and every region has different energy needs and resources. Therefore, decision-makers should consider multiple criteria to select the most suitable renewable energy sources according to their conditions, considering these factors.

Keywords: CRITIC, Multi-Criteria Decision Making, Renewable Energy Selection, WASPAS

1. INTRODUCTION

Energy is defined briefly as the driving force or the ability to do work. Every production activity requires energy usage in its unique measures.

The rapid population growth and developing industries in the world increase energy demand, which is an essential input. However, there may be some inadequacies in meeting this demand with the existing limited and depletable resources. At this point, studies are continuing on new and sustainable resources. According to the estimates of the International Energy Agency (IEA), by 2040, the world's population is expected to be 1.7 billion higher than today, and with urbanization and increases in per capita income, energy demand is expected to increase by 25% compared to today. However, the electricity demand, which constitutes 20% of the total energy consumption today, will be much higher compared to the demand for fossil fuels. The EIA predicts that by 2040, electricity demand will be almost double today's levels. While the increase in demand for electricity in developed countries remains at low levels, developing economies, especially China, show high demand. The number of people without access to electricity in the world fell below one billion for the first time in 2017. It is expected that this number will drop below 700 million by 2040. Renewable, limited, and non-renewable energy sources such as coal, oil, natural gas, and nuclear energy can cause threats to human health and the environment and can lead to negative consequences in a country's development. To minimize and/or eliminate these negative impacts, countries have begun to tend towards using renewable energy sources. At this point, the important issue has been the identification and use of the right source in the right place.

Renewable energy sources are more sustainable environmentally and are effective in reducing carbon footprint compared to non-renewable energy sources. In addition, energy security worldwide, protection against fluctuations in energy prices, and environmental protection issues have become positive options for countries in terms of economic development. Moreover, renewable energy sources play an effective role in combating climate change by reducing greenhouse gas emissions resulting from the burning of fossil fuels. When renewable energy sources are evaluated from an economic perspective, they can also revitalize local economies, add value to regional renewable energy projects and local businesses, and create employment opportunities. Furthermore, renewable energy sources generally have safer and cleaner working conditions, making them important in terms of employee health and safety. However, these types of sources can also have their difficulties. For example, while some sources can be used regionally without requiring a large amount of space, others may require larger areas for use. Additionally, the cost of renewable energy sources can vary depending on technological developments. When renewable energy sources are evaluated from an economic perspective, they can also revitalize local economies, add value to regional renewable energy projects and local businesses, and create employment opportunities. Furthermore, renewable energy sources generally have safer and cleaner working conditions, making them important in terms of employee health and safety. However, these types of sources can also have their difficulties. For example, while some sources can be used regionally without requiring a large amount of space, others may require larger areas for use. Additionally, the cost of renewable energy sources can vary depending on technological developments. The widespread use of renewable energy sources can also bring about some technological and economic challenges. Currently, there is no clear solution for the storage of the energy generated, and renewable energy sources require a storage system to provide constant power. This can increase the cost of energy due to the underdeveloped storage systems. In addition, some types of renewable energy sources can lead to high investment costs to adapt to existing infrastructure. As the cost of these sources decreases and their technologies improve, their use will become more widespread. In this regard, governments can provide incentive packages for renewable energy and various facilitative legal regulations to enable the large-scale use of these sources.

In European countries, investments in renewable energy sources are given great importance and their use is quite widespread. For these countries, these investments are important in terms of supporting economic development for their societies, contributing to environmental protection, and being important in terms of energy security.

Therefore, the European Union has set a series of targets to support renewable energy sources in its energy policies and to reduce the use of fossil fuels.

With the doubling of electricity demand in developing countries, the production of clean, cheap, and accessible electricity from renewable sources has become an important issue in development programs and policies [37]. The use of renewable sources for electricity production is at the forefront of these policies. Although investments in renewable energy areas such as wind and solar energy are increasing rapidly, the costs of these technologies are also decreasing rapidly. As a result of these investments, the share of renewable energy in the global energy mix is also increasing rapidly. According to a report published by Global Data Energy in July 2018, the installed capacity of renewable energy accounts for 18.2% of the total global energy mix, and this ratio is estimated to be 22.5% for 2020 [2]. The EIA has also predicted that the share of renewable sources in 2022 will be 30% [2]. However, in addition to the positive aspects of renewable energy, there are also some negative aspects or risks. For example, there are some obstacles to increasing investments in wind and solar energy, the foremost of which is the risk that both energy sources may cause fluctuations in energy production due to their natural characteristics. There is still no complete solution to the storage problem in electricity production. In this case, electricity production is done as demand requires and is obliged to respond instantly to demand. The cessation of electricity production in periods where sufficient wind and sunlight are not obtained is a risk that the system cannot bear. For this reason, research continues on the use of renewable and continuous sources in electricity production.

Various methods and techniques are used to obtain energy for economic purposes, and these sources are called energy sources and are classified in various ways:

A - Energy Sources According to Sustainability (Permanence, Exhaustibility) Status: This type of classification is made according to the renewable status of the energy source.

1- Renewable (Alternative) Energy Sources: Solar, Wind, Hydroelectric, Geothermal, Biomass, Hydrogen, Wave, and Tidal energies are renewable energy sources.

2- Non-renewable (Fossil, Conventional, Traditional) Energy Sources: They are also called primary sources, and conventional sources, and these energy sources cannot be renewed, meaning they are used once or are depleted. Coal, oil shale, oil, natural gas, uranium, and thorium are among the sources in this group.

B- Energy Sources According to Their Convertibility: This classification is made according to the direct/indirect use of energy sources as an energy source.

1- Primary Energy Sources: These are sources that directly provide energy without changing their main characteristics when used. Coal, nuclear, biomass, hydraulic, and wave energy are examples of energy sources that fall into this category.

2- Secondary Energy Sources: These are sources that are used after being converted to a different energy source. Electricity, gasoline, diesel, secondary coal, coke, and LPG energy are examples of energy sources that fall into this category.

C- Energy Sources Based on Their Underground-Aboveground Origin: This classification is made based on whether the energy source is formed aboveground/underground.

1- Underground Energy Sources: These are energy sources such as coal, oil, natural gas, geothermal, oil shale, and nuclear (radioactive) sources.

2- Aboveground Energy Sources: Sources such as solar, wind, and biomass fall into this category.

D- Energy Sources Based on Their Physical State: This classification is made based on the physical state of the energy source under normal conditions.

1- Solid Energy Sources: Sources such as coal, wood, biomass waste, and uranium fall into this category.

2- Liquid Energy Sources: Sources such as oil, LPG, diesel, and biodiesel fall into this category.

3- Gas Energy Sources: Sources such as natural gas, methane gas, and biogas fall into this category.

The cost of energy production from non-renewable sources, also known as fossil fuels, may be lower than that of renewable energy sources, but they all have a finite supply and cause negative impacts on the environment, human health, and climate change in the medium and long term. The low-cost energy production with fossil fuels causes an increase in carbon dioxide emissions, leading to higher air pollution levels and negatively affecting human health, as well as accelerating global warming due to the greenhouse effect, causing the melting of glaciers and rising sea levels, which threaten habitable land masses. Other toxic gases emitted from fossil fuels include sulfur dioxide, carbon monoxide, and nitrogen monoxide, which can lead to respiratory problems in humans over the medium and long term as the concentration of these gases increases in the air. These negative impacts on the environment and human health also lead to economic losses for countries. Moving or establishing factories and energy production facilities away from residential areas to continue using cheap energy in the industry also does

not provide a definitive solution. Pollutants released into the air due to the wind effect or other sources of pollution still pose a threat to human and animal food sources and agricultural land.

There is a linear connection between electricity consumption and economic activity in Turkey. This is due to sudden changes in electricity consumption that reflect the fluctuations in the Turkish economy and growth rate. The trend of less energy consumption for growth, which is observed in developed countries, has not been seen yet in Turkey. According to data from the Turkish Electricity Transmission Corporation, there was an increase in electricity consumption and production in 2021 due to factors such as an increase in electricity demand and industrial production. Between 2010 and 2020, primary energy supply increased by approximately 34%, while gross electricity demand increased by 45%. In 2020, 290.8 billion kilowatt-hours of electricity were consumed in Turkey, and this figure increased by approximately 12% to around 329 billion kilowatt-hours in 2021. Production was recorded as 291.5 billion kilowatt-hours in 2020.

In Turkey, the largest share of the primary energy supply belongs to fossil fuels. As of 2020, the share of coal in the primary energy supply was 27.6%, oil was 28.6%, and natural gas was 27%. The remaining 16.8% share consists of renewable energy sources such as hydroelectric, wind, solar, geothermal, biomass, and waste-to-energy. Fossil fuels account for 83.3% and imported sources account for 70.2% of primary energy supply. Additionally, Turkey exported 4.1 billion kilowatt-hours of electricity in 2021, which is a 68% increase from 2020 when the number was 2.4 billion kilowatt-hours. The electricity import also increased by 23% in 2021 compared to 2020, rising from 1.8 billion kilowatt hours to 2.3 billion kilowatt hours. On the other hand, Turkey's installed capacity for electricity reached 99,819 megawatts by the end of 2021.

In addition, the need for more investment, especially in the use of alternative energy sources, is increasing day by day to compensate for the shortfall of hydroelectric power plants, which are unable to function adequately due to climate change, regional drought risks, and water scarcity, limiting living spaces and having the potential to alter ecosystems. The electricity import also increased by 23% in 2021 compared to 2020, rising from 1.8 billion kilowatt hours to 2.3 billion kilowatt hours. On the other hand, Turkey's installed capacity for electricity reached 99,819 megawatts by the end of 2021. In addition, the need for more investment, especially in the use of alternative energy sources, is increasing day by day to compensate for the shortfall of hydroelectric power plants, which are unable to function adequately due to climate change, regional drought risks, and water scarcity, limiting living spaces and having the potential to alter ecosystems.

Renewable energy sources in our country can also be defined as energy sources that can renew themselves in nature's cycle and preserve their existence. The most important feature of these sources is that they do not emit toxic gases or create a harmful factor for the environment and therefore the health of living things. Economically, it helps to reduce energy imports and keep the capital that is needed to exit the country inside and also create job opportunities through investments made within the country. In this regard, when choosing a renewable energy source that is necessary for the development of the country, economic, technical, environmental, and social factors must be taken into account. For example, renewable energy sources can also contribute to socio-economic development in rural and underdeveloped areas such as mountainous regions by creating job and infrastructure opportunities. [26]

Various mathematical methods have been developed to accurately analyze criteria with different measurement units and make the right choice based on different options. Multiple Criteria Decision-Making methods encompass various types of mathematical methods.

This study discusses renewable energy sources that could be evaluated for investment in our country, including Wind, Hydroelectric, Solar, Biomass, Geothermal, and Wave Energy. In the comparison of these sources, 26 criteria were taken into consideration, including investment cost, employment, efficiency, accident and breakdown risks, the potential of the resources, technological maturity, environmental impacts, water consumption, and government incentives.

As a result of the analysis, Wave Energy was determined to be the most accurate option numerically. The Aegean Sea was identified as the most suitable sea for energy production by utilizing the movement of sea waves. If Wave Energy, which has only recently begun to be mentioned in Turkey, had not been included as a renewable energy model in this study, and the water consumption criterion had not been taken into account during the operation of the system, hydroelectric power would have emerged as the most accurate option mathematically. Although hydroelectric power is considered a renewable energy source, the main factor in the operation of these facilities is water. Considering the limited availability of water resources, the reduction or elimination of the flow rates of rivers that feed agricultural areas during the installation of facilities may result in drought in river basins and affect agricultural production. Therefore, investments must be made for the future, and flexibility should also be

considered in the decision-making process due to the presence of unmeasurable factors despite mathematical calculations.

In this study, an objective weighting model called the CRITIC Method is used to calculate criterion weighting (prioritization), and then separate one-stage analyses are conducted using the WASPAS Model, and the results obtained are evaluated. Thus, an example study is aimed to be obtained regarding the comparison of independent and numerous criteria and the conduct of efficiency analysis. This study discusses renewable energy sources that were evaluated for investment in our country, including Wind, Hydroelectric, Solar, Biomass, Geothermal, and Wave Energy. In the comparison of these sources, 26 criteria were taken into consideration, including investment cost, employment, efficiency, accident and breakdown risks, potential of the resources, technological maturity, environmental impacts, water consumption, and government incentives.

As a result of the analysis, Wave Energy was determined to be the most accurate option numerically. The Aegean Sea was identified as the most suitable sea for energy production by utilizing the movement of sea waves. If Wave Energy, which has only recently begun to be mentioned in Turkey, had not been included as a renewable energy model in this study, and the water consumption criterion had not been taken into account during the operation of the system, hydroelectric power would have emerged as the most accurate option mathematically. Although hydroelectric power is considered a renewable energy source, the main factor in the operation of these facilities is water. Considering the limited availability of water resources, the reduction or elimination of the flow rates of rivers that feed agricultural areas during the installation of facilities may result in drought in river basins and affect agricultural production. Therefore, investments must be made for the future, and flexibility should also be considered in the decision-making process due to the presence of unmeasurable factors despite mathematical calculations.

2. THE IMPORTANCE OF RENEWABLE ENERGY INVESTMENTS FOR TURKEY

Turkey faces a large part of its energy needs from fossil fuels. However, due to reasons such as depletion of fossil fuels, environmental impacts, and energy security issues, there is a growing trend towards renewable energy sources. Turkey is a rapidly growing economy and this leads to an increase in energy demand. This, in turn, creates an increase in energy demand. Turkey, which imports 90% of its energy needs, faces possible energy supply security problems. In addition, the use of fossil fuels causes air pollution and greenhouse gas emissions. Renewable energy sources are more environmentally friendly and sustainable than fossil fuels. Turkey's potential for renewable energy sources is quite high. Renewable energy production can be achieved by using different sources such as solar, wind, hydraulic, biomass, and geothermal energy. Renewable energy investments are important for Turkey due to several reasons. First, as a country heavily dependent on fossil fuels to meet its energy demand, Turkey faces energy security risks and environmental challenges associated with the use of such fuels. Second, Turkey's economy is growing rapidly, and its energy demand is expected to increase accordingly. Investing in renewable energy sources can help meet this growing energy demand sustainably. Third, Turkey has a high potential for renewable energy sources such as solar, wind, hydro, biomass, and geothermal energy, which can be harnessed to generate clean and renewable energy. Solar energy potential is particularly high in the Marmara, Aegean, and Mediterranean regions of Turkey. Wind energy potential is generally high in the Central Anatolia and Marmara regions. Turkey also has a high potential for hydroelectric power, and both large and small hydroelectric power plants can be built in the country given its rich and efficient river resources. Biomass energy sources include the management of waste, agricultural residues, forest residues, and animal waste. Geothermal energy sources are particularly widespread in the Western Anatolia, Marmara, and Black Sea regions of Turkey.

3. LITERATURE REVIEW

3.1. Decision-Making Methods

A scientific decision-making process that can be reduced to two basic stages: identifying criteria and selecting an appropriate method, also requires rational action for rationality and efficiency.

Many methods, including classical or fuzzy logic-based, are used by researchers to solve problems known as multi-criteria decision-making (MCDM) in the literature.

Before the application of all decision-making methods, the basic steps are as follows:

- Defining the problem
- Listing all possible options
- Listing all possible situations
- Creating a decision table for technical data triggering the profit and/or cost of each option

- Selecting a decision method
- Implementing the method and determining the preference based on the results obtained after the implementation.

3.2. The Originality of The Study

This study focuses on renewable energy sources in terms of their renewable nature. When considering the literature and published articles on this topic, it is seen that many studies have been conducted on renewable energy sources. In recent studies, it is observed that mainly a single type of renewable energy source is emphasized, and in comparative studies, usually five types of renewable energy sources are focused on.

One of the aims of this study is to provide a broader perspective by comparing six different renewable energy sources together. Although comparing six types of energy sources is the most distinctive feature of this study, the objective-based weighting method used in the calculations is also different from the subjective-based method generally preferred in articles. The criteria used in the calculations are more comprehensive than those in previous studies, which also adds to the uniqueness of the study. In CRITIC-weighted applications, the criteria are listed horizontally and the alternatives are listed vertically in the calculations. However, in this study, the options are listed horizontally, and the criteria are listed vertically, resulting in a different calculation method compared to other studies. Overall, this study stands out from others in terms of its approach, objectives, and methodology, and provides new insights into the comparison of different types of renewable energy sources.

4. METHODOLOGY

4.1. CRITIC

In the first stage of the application process of Multi-Criteria Decision Methods, which is Criterion Weighting, an objective method called CRITIC has been preferred in the study. When subjective methods are preferred in the criterion weighting process, the experiences and interpretation styles of decision-makers who prioritize criterion weights are important, but the possibility of changes in priority rankings from person to person still exists. At this point, using mathematical methods based on data will lead to a more reliable result in terms of determining priorities. In this context, the application of the objective method CRITIC has been carried out. In the CRITIC method, the weight of each criterion is determined by taking into account the correlations between the criteria as well as the standard deviation of each criterion (Wang and Luo, 2010). The following steps are applied in the CRITIC method (Çakır and Perçin, 2013; Diakoulaki et al., 1995; Işık, 2019; Kiracı and Bakır, 2018; Şenol and Ulutaş, 2018; Akbulut, 2019):

4.1.1. The Stages of CRITIC

Step 1: Creating the Decision Matrix

First, the type of criteria is determined. The decision matrix is then created with n-piece alternatives and m-piece criteria, as shown in Formula 4.1.

$$\mathbf{X} = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & x_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & x_{nm} \end{pmatrix} \quad (4.1)$$

Step 2: Normalization of the Decision Matrix

The values in the decision matrix are normalized using Equations (4.2) for benefit (maximization) criteria and Equation (4.3) for cost (minimization) criteria.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - x_j^{\min}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}} \quad (4.2)$$

$$r_{ij} = \frac{x_j^{\max} - x_{ij}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}} \quad (4.3)$$

Where x_j^{min} , represents the minimum value of the j-th criterion and x_j^{max} , represents the maximum value of the j-th criterion.

Step 3: Creating the Correlation Coefficient Matrix

Equation (4.4) is used to calculate the correlations between pairs of criteria and measure the degree of relationship between criteria

$$\rho_{jk} = \frac{\sum_{i=1}^n (r_{ij} - \bar{r}_j)(r_{ik} - \bar{r}_k)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (r_{ij} - \bar{r}_j)^2 \sum_{i=1}^n (r_{ik} - \bar{r}_k)^2}}, j, k = 1, 2, \dots, m \quad (4.4)$$

Step 4: Calculation of C_j Value

C_j represents the total amount of data for each criterion and is calculated by using equation (4.5). The σ_j value, which is the standard deviation of the criteria equation (4.6) and equation (4.5), is calculated.

$$C_j = \sigma_j \sum_{k=1}^m (1 - t_{jk}), j = 1, 2, \dots, m \quad (4.5)$$

The correlation coefficient between criterion pairs is expressed by t_{jk} .

$$\sigma_j = \sqrt{\sum_{i=1}^m (r_{ij} - \bar{r}_j)^2 / m} \quad (4.6)$$

Step 5: Calculation of Criterion Weights W_j

Criterion weights are calculated by using Equation (4.7).

$$W_j = \frac{C_j}{\sum_{k=1}^m C_k}, j, k = 1, 2, \dots, m \quad (4.7)$$

4.2. WASPAS

WASPAS (Weighted Aggregated Sum Product Assessment) is an effective Multi-Criteria Decision Making (MCDM) method that combines the Weighted Sum Model (WSM) and the Weighted Product Model (WPM) into a single approach by integrating a coefficient into the weighted sum and weighted product models. In practice, it is based on the combination of WSM and WPM. In a study conducted by Zavadskas, Turskis, Antucheviciene, and Zakarevicius (2012), WASPAS was proposed as a combined method that consists of WSM and WPM. Furthermore, it was found that while the weighted sum achieves the highest prediction accuracy, WASPAS improves ranking accuracy.

4.2.1. The Stages of WASPAS

Before moving on to the steps of the WASPAS method, the problem at hand is presented with m options A_i ($i = 1, 2, \dots, m$) and n criteria C_j ($j = 1, 2, \dots, n$). There are 4 steps of the WASPAS method in total.

Step 1: Creating the Decision Matrix

A decision matrix X is prepared that shows the performances of different options under different criteria. The weight ratio of each criterion in the total - related to priorities - can be individually determined in the range of $0 \leq x \leq 1$ [0,1]. Alternatively, one of the ANP or AHP methods can be applied in this step to determine the percentage intervals of the criteria according to their priorities.

$$X = [x_{ij}]_{m \times n} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (i = 1, 2, \dots, m \text{ ve } j = 1, 2, \dots, n) \quad (4.8)$$

The performance of the i -th option under the j -th criterion in the decision matrix X is represented by x_{ij} .

Step 2: Normalization of the Decision Matrix

To compare performance measurements, eliminate data repetitions, and increase data consistency, it is necessary to make them dimensionless. Therefore, all elements in the decision matrix with different measurement units are made dimensionless by applying Equation (4.8) for Maximization (Benefit Criteria) and Equation (4.9) for Minimization (Cost Criteria). Thus, the normalization process on the criteria is completed.

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij}}{\max_i(x_{ij})} \quad i = 1, 2, \dots, m \text{ ve } j = 1, 2, \dots, n \quad (4.9)$$

$$x_{ij}^* = \frac{\min_i(x_{ij})}{x_{ij}} \quad i = 1, 2, \dots, m \text{ ve } j = 1, 2, \dots, n \quad (4.10)$$

In these equations, the normalized performance value of the i -th alternative under the j -th criterion is denoted by X^*_{ij} .

Step 3: Calculation of Relative Importance of Alternatives

In this step, the total relative importance of the i -th alternative is calculated separately according to WSM and WPM. According to WSM, the total relative importance of an alternative is determined as the weighted sum of criterion values, while according to WPM, the total relative importance of an alternative is calculated as the product of criterion weights and the power of criterion performance value. The total relative importance of an alternative according to WSM is calculated as shown in equation (4.11), and the total relative importance of an alternative according to WPM is calculated as shown in equation (4.12).

$$Q_i^{(1)} = \sum_{j=1}^n r_{ij} w_j \quad (4.11)$$

$$Q_i^{(2)} = \prod_{j=1}^n r_{ij}^{w_j} \quad (4.12)$$

Step 4: Finding the Common Generalized Criterion Value

The total relative importance of alternatives calculated according to the WSM and WPM methods in Step 3 can be generalized by using Equation (4.13)

$$Q_i = \lambda Q_i^{(1)} + (1 - \lambda) Q_i^{(2)} \quad (4.13)$$

Here, Q_i represents the total relative importance of the i -th alternative according to the WASPAS method. λ is a parameter used in the WASPAS method and takes values between 0 and 1. When λ is taken as 0 and 1, the WASPAS method turns into the WPM and WSM methods, respectively.

The choice of λ value depends on the decision maker. Zavadskas et al. (2012) suggest calculating the optimal λ value. In our study, this value was taken as 0.6 due to its high accuracy.

Finally, the ranking of alternatives based on their total relative importance is performed in the WASPAS method by considering the Q_i values. The alternative with the highest Q_i value is selected as the best option.

5. APPLICATION

5.1. Data and Criteria Based Sample

As a Renewable Energy Source, after considering 6 types of sources which are Wind, Solar, Hydropower, Biomass, Geothermal, and Wave Energy, and determining criteria under 4 main headings: Technical, Sociological, Environmental, and Economic for their preference statuses, sub-criteria were also created and grouped under these main criteria. Following this, data for each item was determined. The preference weighting of the criteria was calculated with the CRITIC Method, and after normalizing the calculations with the WASPAS method, the preference analyses of these 6 options were completed separately. An evaluation was made based on the results obtained.

5.1.1. Identification of Criteria in Renewable Energy Selection

This is an example study aiming to determine the most suitable renewable energy source for installation by identifying the preferred study criteria for potential renewable energy sources in our country. These criteria are among the 26 most commonly encountered criteria in the literature search. Table 5.1 shows the criteria and the sources from which the data for each criterion were obtained for the comparison process.

Table 5.1: General criteria identified for the study and sources of data acquisition

No	Criteria	Description	References Authors
K01	Energy Efficiency	It is the ratio of the output energy of the power plant to the input energy.	Özcan and others 2017
K02	Economic Potential (GW/year)	The amount of energy that can be economically produced under specific conditions.	Görez and Alkan 2005; Edenhofer O., Pichs-Madruga R., Sokona Y., Seyboth K., Kadner S., Zwickel T., Eickemeier P., Hansen G., Schlomer S., Von Stechow C. ve Matschoss P., 2012. (Wave en.)
K03	Operating Life (years)	The economic lifetime of the investment is an important criterion that determines profitability due to the high costs of power plant installation and operation.	Zheng and Wang 2020
K04	Global Installed Capacity (%)	Power generation capacity of the power plant	REN21,2015

K05	Capacity Factor (%)	It is the ratio of the amount of power generated by an energy plant during a certain period (year) to the amount of power that could be generated by operating at full capacity for every hour of that period.	NETL,2013
K06	Low Risk of Breakdowns and Accidents	It determines the probability of failure and accident risks of the facility.	Ligus and Peternek 2010
K07	Investment Cost (\$/kW)	The amount of capital spent during the installation and operation phases.	Raza, Janajreh and Ghenai, 2014; Yücenur, Çaylak, Gönül and Postalcioglu,2020; Alizadeh, Soltanisehat, Lund and Zamanisabzi, 2020; Özcan, Ünlüsoy and Evren, 2017
K08	Fixed Operation and Maintenance Cost (\$/MW-yr)	The rental, depreciation, insurance, and property tax are fixed operating costs. The cost per unit varies according to the production volume of the product.	NETL, 2013 Study; Thorpe, T W. 1999. (Wave En.)
K09	Electricity Production Cost (\$/kW-hr)		EIA, 2016 Study; Delucchi M. A. and Mark Z. J., 2011 (Wave En.)
K10	LCOE Electricity Production Cost (\$/MWh)	Levelled Cost of Energy (LCOE); is a measure of the average net present cost of electricity generation over the lifetime of a power plant. It is used to plan investments and to compare different electricity generation methods consistently.	US Energy Information Administration, 2015;
K11	Amortization Period (year)	The payback period for investment	Keny, Lawve Pearce, 2010
K12	Specific Water Consumption (m^3/kWh)	This is the amount of water consumption value per unit of electricity produced.	Şahin, 2016; Sitorus and Parada, 2020
K13	Land Requirement (km^2/MW)	The total area usage and the amount of energy per unit area.	Beccali, Cellura and Mistretta, 2003; Rani Mishra, Pardasani, Mardani, Liao and Streimikiene, 2019;

			Kayakutlu and Ercan 2015
K14	Turnkey Delivery Time (year)		Wang and others,2020
K15	Government Incentives (\$/kW)	The financial support provided by the government during the investment and operation phases.	Nigim and Munier, 2004; Ren and Sovacool, 2015; Özcan and others.2017
K16	Nitrogen Oxide Emissions (g/MWh)		NETL, 2013; Brooke,2003 IEA 2009 [55] (Wave)
K17	Carbon Dioxide Emissions (g-CO ₂ /kWh)		IPCC, 2014; Brooke,2003 IEA 2009 [55] Wave)
K18	Carbon Monoxide Emissions (g/MWh)		NETL, 2013
K19	Sulfur Dioxide Emissions (g/MWh)		NETL, 2013 IEA 2009 [55] (Wave)
K20	Particulate Emissions (g/MWh)		NETL, 2013
K21	Non-Methane Emissions (g/MWh)		NETL, 2013
K22	External Cost	It is the cost that a company incurs to protect its profit margins from the negative effects of another company.	Stein, 2013
K23	Installation, Operation, and Maintenance Employment (person/MW)	It is the total number of staff required throughout the existence of the power plant, at every stage of its operation.	Kaya, and Kahraman 2010; Amer and Daim, 2011; Kabak and Dağdeviren, 2014; Şengül, Eren Shiraz, Gezder ve 2015; Lee and Chang, 2018; Solangi and others. 2019; Wang, Xu and Solangi, 2020
K24	Social Acceptability	It indicates the level of social acceptability of power plants	Tsoutsos, Drandaki, Frantzeskaki, Losifidis, and Kiosses,2009; Kahraman, Kaya, and Cebi, 2009; Demirtas, 2013; Özcan and others. 2017; Lee and Chang, 2018; Rani and others. 2019
K25	Technological Maturity	The prevalence of technology in regional, national, and international contexts	Demirtaş, 2013; Ren and Sovacool, 2015;

			Özkale, Çelik, Türkmen, and Cakmaz, 2017; Nigim and Munier, 2004; Zheng and Wang 2020
K26	Noise Factor (dB)		Solangi and others .2019; Zheng and Wang 2020 For wind En. [50][51][52], For Hydraulic [53] For Biomass [54]

5.1.1.1 Technical Criteria

Technical criteria refer to the technical specifications of each renewable energy investment, based on numerical data. This group of criteria includes sub-headings such as the economic life of the operation, efficiency, potential, and installed power capacity. Table 5.2 shows the technical criteria and their corresponding numerical data.

Table 5.2: Technical Criteria

No	Sub Criteria Sources of Energy	Solar	Wind	HydroP.	Biomass	GeoT	Wave
K01	Energy Efficiency	21	26	90	40	16	15
K02	Economic Potential (GW/year)	91	98	140	0,4	4	3.650
K03	Operating Life (years)	25	25	30	20	25	30
K04	Global Installed Capacity (%)	2,9	6,1	17,5	1,5	0,2	2,41
K05	Capacity Factor (%)	27,4	30	37,1	85	90	30
K06	Low Risk of Breakdowns and Accidents	16,6	17	11	10	9	15

The other technical criteria that can be used in a subjective approach that does not have a numerical measure are defined as Reliability, Low Risk of Malfunction and Accidents, and Modularity in Production and Installation.

5.1.1.2 Economic Criteria

The technical specifications of the relevant investment may appear much better compared to other options, but its monetary factors (return) may not be sufficient. At this point, data on sub-headings should also be included in selection models as a separate criterion heading. In this group, the cost of electricity per unit amount and the return on investment related to it is important. Table 5.3 shows the sub-headings of the Economic Criteria and the data determined for each option.

Table 5.3. Economic Criteria

No	SubCriteria Sources of Energy	Solar	Wind	HydrP.	Biomass	GeoT	Wave
K07	Investment Cost (\$/kW)	3873	2213	2936	4114	4362	2500
K08	Fixed Operation and Maintenance Cost (\$/MW-yr)	56780	24050	4120	86600	164640	46608
K09	Electricity Production Cost (\$/kW-hr)	0,125	0,07	0,08	0,1	0,05	0,05
K10	LCOE Electricity Production Cost (\$/MWh)	125,3	73,6	83,5	100,5	47,8	90
K11	Amortization Period (years)	1,85	0,9	11,8	1,92	5,7	8
K12	Specific Water Consumption (m3/kWh)	0	0	3,97	0	0	0
K13	Land Requirement (km2/MW)	11	10	10	25	38	20
K14	Turnkey Delivery Time (years)	0,5	1	1,08	2	1	1
K15	Government Incentives (\$/kW)	22,5	11	9,6	18,9	13,2	10

5.1.1.3 Criteria Relation to Ecological Impacts

Environmental impacts should also be considered alongside technical and economic criteria for the investment to be made. Environmental factors directly affect human health, so the subheadings and data belonging to this group are as important as the other main group criteria.

Table 5.4. Ecological Criteria

No	SubCriteria Sources of Energy	Solar	Wind	HydrP	Biomass	GeoT	Wave
K16	Nitrogen Oxide Emissions (g/MWh)	94,40	26,8	17,30	959	12,50	0,10
K17	Carbon Dioxide Emissions (g-CO2/kWh)	41	11	24	230	38	24,60
K18	Carbon Monoxide Emissions (g/MWh)	607	38,10	12,20	1490	25,10	0
K19	Sulfur Dioxide Emissions (g/MWh)	59,20	29,90	11,20	439	3,11	0,24
K20	Particulate Emissions (g/MWh)	0,0352	0,0168	0,0053	0,325	0,0013	0
K21	Non-Methane Emissions (g/MWh)	37,60	7,24	0,597	40,50	0,442	0

5.1.1.4 Socioeconomic Criteria

This is the main criteria group that covers the social and economic impacts of the relevant investments. Acceptability of the investment by the public in the region where the investment is planned, as well as the benefits of the investment for the public in both the region and a wider circle, can be defined under this criteria group title.

Table 5.5. Socioeconomic Criteria

No	SubCriteria Sources of Energy	Solar	Wind	Hydr	Bioma	GeoT	Wave
K22	External Costs	0,60	0,19	0,54	2,01	0,20	0,8
K23	Installation, Operation, and Maintenance Employment (person/MW)	0,53	0,40	0,33	1	2,13	0,30
K24	Social Acceptability	0,1137	0,1340	0,0479	0,1270	0,1312	0,05
K25	Technological Maturity	2	3	5	5	4	3
K26	Noise Factor (dB)	0	47	72,3	79,9	82	70

Table 5.6. Maximization (Benefit) and Minimization (Cost) Oriented Criteria

Primary Criteria Categories	Sub Criteria	Max / Min
Technique	Energy Efficiency	Max
	Economic Potential (GW/year)	Max
	Operating Service Life (year)	Max
	Global Installed Capacity (%)	Max
	Capacity Factor (%)	Max
	Probability of Failure and Accident Risk	Min
Economic	Investment Cost (\$/kW)	Min
	Fixed Op. and Maintenance Cost (\$/MW-year)	Min
	Electricity Generation Cost (\$/Kw-h)	Min
	LCOE Electricity Generation Cost (\$/MWh)	Min
	Amortization Period (year)	Min
	Specific Water Consumption (kg/MW)	Min
	Land Use Requirement (km ² /MW)	Min
	Turnkey Delivery Time (year)	Min
	Government Incentives (\$/MW)	Max
Ecological	Nitrogen Oxide Emissions (g/MWh)	Min
	Carbon Dioxide Emissions (g-CO ₂ /GWh)	Min
	Carbon Monoxide Emissions (g/MWh)	Min
	Sulfur Dioxide Emissions (g/MWh)	Min
	Particulate Emissions (g/MWs)	Min
	Non-Methane Emissions (g/MWs)	Min
Social	External Cost	Min
	Employment during Installation, Operation, and	Max
	Social Acceptability	Max
	Technological Maturity	Max
	Noise Factor	Min

5.2. Stages of CRITIC Methods

In the first stage of applying the CRITIC method, after determining the types of criteria, a decision matrix consisting of 6 options and 26 criteria were formed, as shown in Table 5.7, taking into account the data in Tables 5.2, 5.3, 5.4, and 5.5, to obtain an objective prioritization as in equation (4.1).

Table 5.7. Decision matrix including measurable data for renewable energy source types

Decision Matrix							
No	Criteria Options	Solar	Wind	HydroE	Biomass	Geoth.	Wave
K01	Energy Efficiency	21	26	90	40	16	15
K02	Economic Potential (GW/yıl)	91	98	140	0,4	4	3,65
K03	Operating Life (year)	25	25	30	20	25	30
K04	Global Installed Capacity (%)	2,90	6,10	17,50	1,50	0,20	2,41
K05	Capacity Factor (%)	27,40	30,00	37,10	85,00	90,00	30,00
K15	Government Incentives (\$/kW)	22,5	11	10	18,9	13,2	10
K23	Installation, Operation, and Maintenance Employment (person/MW)	0,53	0,40	0,33	1,00	2,13	0,30
K24	Social Acceptability	0,1137	0,1340	0,0479	0,1270	0,1312	0,0500
K25	Technological Maturity	2	3	5	5	4	3
K06	Low Risk of Breakdowns and Accidents	16,6	17	11	10	9	15
K07	Investment Cost (\$/kW)	3.873	2.213	2.936	4.114	4.362	2.500
K08	Fixed Operation and Maintenance Cost (\$/MW-yr)	56.780	24.050	4.120	86.600	164.640	46.608
K09	Electricity Production Cost (\$/Kw-saat)	0,125	0,070	0,080	0,100	0,050	0,050
K10	LCOE Electricity Production Cost (\$/MWs)	125,30	73,60	83,50	100,50	47,80	90,00
K11	Amortization Period (year)	1,85	0,9	12	1,92	5,7	8
K12	Specific Water Consumption (m3/kWh)	0	0	3,9700	0	0	0
K13	Land Requirement (km2/MW)	11	10	10	25	38	20
K14	Turnkey Delivery Time (year)	0,50	1	1,08	2	1	1
K16	Nitrogen Oxide Emissions (g/MWs)	94,40	26,80	17,30	959,00	12,50	0,10
K17	Carbon Dioxide Emissions (g-CO2/kWh)	41	11	24	230	38	24,60
K18	Carbon Monoxide Emissions (g/MWs)	607	38,10	12,20	1.490	25,10	0,00
K19	Sulfur Dioxide Emissions (g/MWs)	59,20	29,90	11,20	439	3,11	0,24
K20	Particulate Emissions (g/MWs)	0,0352	0,0168	0,0053	0,3250	0,0013	0,00
K21	Non-Methane Emissions (g/MWs)	37,600	7,240	0,597	40,500	0,442	0,00
K22	External Cost	0,6	0,19	1	2,01	0,2	0,8
K26	Noise Factor (dB)	0	47	72	79,9	82	70

The numerical data in the Decision Matrix are standardized by using the benefit or cost directionality (Equations 4.2 and 4.3). Table 5.8 shows the structure of the standardized decision matrix.

Table 5.8. The Normalization Table obtained by standardization

Normalization Matrix							
No	Criteria Options	Solar	Wind	HydroP.	Biomass	Geother.	Wave
K01	Energy Efficiency	0,920	0,853	0,000	0,667	0,987	1,000
K02	Economic Potential (GW/year)	0,351	0,301	0,000	1,000	0,974	0,977
K03	Operating Service Life (year)	0,500	0,500	0,000	1,000	0,500	0,000
K04	Global Installed Capacity (%)	0,844	0,659	0,000	0,925	1,000	0,872
K05	Capacity Factor (%)	1,000	0,958	0,845	0,080	0,000	0,958
K15	Government Incentives (\$/MW)	0,000	0,891	1,000	0,279	0,721	0,969
K23	Employment during Installation, Operation, and Maintenance (person/MW)	0,874	0,945	0,984	0,617	0,000	1,000
K24	Social Acceptability	0,236	0,000	1,000	0,081	0,033	0,976
K25	Technological Maturity	1,000	0,667	0,000	0,000	0,333	0,667
K06	Probability of Failure and Accident Risk	0,950	1,000	0,250	0,125	0,000	0,750
K07	Investment Cost (\$/kW)	0,772	0,000	0,336	0,885	1,000	0,134
K08	Fixed Op. and Maintenance Cost (\$/MW-year)	0,328	0,124	0,000	0,514	1,000	0,265
K09	Electricity Generation Cost (\$/Kw-h)	1,000	0,267	0,400	0,667	0,000	0,000
K10	LCOE Electricity Generation Cost (\$/MWh)	1,000	0,333	0,461	0,680	0,000	0,545
K11	Amortization Period (year)	0,087	0,000	1,000	0,094	0,440	0,651
K12	Specific Water Consumption (kg/MW)	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
K13	Land Use Requirement (km ² /MW)	0,036	0,000	0,000	0,536	1,000	0,357
K14	Turnkey Delivery Time (year)	0,000	0,333	0,387	1,000	0,333	0,333
K16	Nitrogen Oxide Emissions (g/MWh)	0,098	0,028	0,018	1,000	0,013	0,000
K17	Carbon Dioxide Emissions (g-CO ₂ /GWh)	0,137	0,000	0,059	1,000	0,123	0,062
K18	Carbon Monoxide Emissions (g/MWh)	0,407	0,026	0,008	1,000	0,017	0,000
K19	Sulfur Dioxide Emissions (g/MWh)	0,134	0,068	0,025	1,000	0,007	0,000
K20	Particulate Emissions (g/MWs)	0,108	0,052	0,016	1,000	0,004	0,000
K21	Non-Methane Emissions (g/MWs)	0,928	0,179	0,015	1,000	0,011	0,000
K22	External Cost	0,225	0,000	0,192	1,000	0,005	0,335
K26	Noise Factor (dB)	0,000	0,573	0,882	0,974	1,000	0,854

The correlation table obtained from correlation analysis between criterion pairs is shown in Table 5.9 using Equation (4.4) to calculate the correlations and measure the degree of relationship between the criteria.

In the next step, the total amount of data in each criterion, denoted as C_j , is calculated using equation (4.5). The standard deviation of the criteria, σ_j , is calculated using equation (4.6) and equation (4.5) where the total number of data is calculated. The results of these calculations are shown in Table 5.10. Finally, the weights of the criteria are determined by using equation (4.7), and the priorities within the list of 26 criteria are established. And finally, priorities have been determined within the list of 26 criteria, which were identified by calculating the weights of the criteria using equation (4.7).

Table 5.9. Relationship Correlation Table

Correlation Matrix																											
No	K01	K02	K03	K04	K05	K15	K23	K24	K25	K06	K07	K08	K09	K10	K11	K12	K13	K14	K16	K17	K18	K19	K20	K21	K22	K26	
K01	1	0,63219	0,28187	0,91235	-0,095	-0,2817	-0,3236	-0,4854	0,67194	0,34831	0,14196	1	-0,17331	-0,03664	-0,59762	-0,9481	0,40888	-0,2369	-0,0793	-0,0593	0,0055	-0,0744	-0,0748	0,12169	-0,1172	-0,2488	-0,4498
K02	0,63219	1	0,3795	0,82343	-0,6368	-0,1358	-0,5547	-0,2402	-0,0837	-0,36924	0,41769	1	-0,35428	-0,20356	-0,20391	-0,6736	0,81877	0,44516	0,41621	0,48072	0,3313	0,38896	0,40576	0,10531	0,44059	0,46017	0,46017
K03	0,28187	0,3795	1	0,55382	-0,6143	-0,6754	-0,4318	-0,8481	-0,1463	-0,21898	0,59247	0	0,44436	0,14072	-0,79625	-0,5423	0,35286	0,55129	0,7864	0,77464	0,81375	0,79945	0,79275	0,74729	0,54958	-0,0329	-0,0329
K04	0,91235	0,82343	0,55382	1	-0,4255	-0,4673	-0,5095	-0,5841	0,38524	0,03295	0,44615	1	-0,04977	0,0068	-0,63363	-0,9514	0,618	0,09648	0,28658	0,32444	0,34609	0,28363	0,28555	0,3508	0,22366	-0,0653	-0,0653
K05	-0,095	-0,6368	-0,6143	-0,4255	1	0,18521	0,8694	0,48247	0,60316	0,85363	-0,75863	-1	0,1664	0,4475	0,11816	0,21405	-0,8706	-0,6306	-0,56	-0,6265	-0,4392	-0,5327	-0,544	-0,1554	-0,3886	-0,6178	-0,6178
K15	-0,2817	-0,1358	-0,6754	-0,4673	0,18521	1	0,15471	0,50991	-0,283	-0,08327	-0,66952	0	-0,83975	-0,67568	0,63302	0,42433	-0,0297	-0,014	-0,5058	-0,5129	-0,7421	-0,5258	-0,5097	-0,9287	-0,4347	0,58233	0,58233
K23	-0,3236	-0,5547	-0,4318	-0,5095	0,8694	0,15471	1	0,54971	0,26413	0,68512	-0,76054	-1	0,27979	0,38885	0,12422	0,31226	-0,9085	-0,1774	-0,1367	-0,2177	-0,0876	-0,1124	-0,1208	0,0947	0,06044	-0,3945	-0,3945
K24	-0,4854	-0,2402	-0,8481	-0,5841	0,48247	0,50991	0,54971	1	-0,1432	0,0233	-0,463	-1	-0,23164	0,14301	0,85872	0,63567	-0,334	-0,1568	-0,3475	-0,3319	-0,3983	-0,367	-0,3579	-0,4545	-0,0315	0,18504	0,18504
K25	0,67194	0,34831	0,14196	0,38524	0,60316	0,85363	0,26413	-0,1432	1	0,84484	0,29019	0	0,1779	0,35938	-0,43043	-0,5394	-0,3104	-0,7662	-0,4906	-0,4906	-0,5141	-0,2678	-0,4629	-0,4765	0,10736	-0,443	-0,8043
K06	0,34831	-0,36924	-0,0837	-0,0837	-0,283	-0,08327	0,84484	0,29019	0,84484	1	-0,62193	-1	0,23687	0,46678	-0,38331	-0,2924	-0,7062	-0,5821	-0,3921	-0,4682	-0,2341	-0,3543	-0,3693	0,09192	-0,3227	-0,7625	-0,7625
K07	0,14196	0,41769	0,59247	0,44615	-0,7596	-0,6695	-0,7605	-0,463	-0,2302	0,62193	1	1	0,3413	0,0408	-0,2065	-0,2157	0,6499	0,21692	0,45206	0,52866	0,54264	0,43788	0,43683	0,50597	0,33124	0,05053	0,05053
K08	0,52693	0,72332	0,46558	0,71285	-0,827	-0,2794	-0,9583	-0,5436	-0,099	-0,5707	0,78107	1	-0,23587	-0,43563	-0,223	-0,514	0,94007	0,15456	0,18813	0,27425	0,17361	0,16436	0,17257	0,06933	0,04308	0,30414	0,30414
K09	-0,1733	-0,3543	-0,4436	-0,0498	0,1664	-0,8397	0,27979	-0,2316	0,1779	0,23687	0,3413	0	1	0,83982	-0,43346	0,01389	-0,4568	-0,028	0,42375	0,38918	0,65454	0,45436	0,43373	0,87693	0,39308	-0,6831	-0,6831
K10	-0,0386	-0,2039	0,14072	0,0068	0,4475	-0,6757	0,58885	0,14301	0,35938	0,46678	0,0408	0	0,83982	1	-0,26791	-0,0618	-0,5607	-0,091	0,3209	0,28678	0,54112	0,346	0,3302	0,75204	0,46983	-0,6717	-0,6717
K11	-0,5976	-0,2039	-0,7962	-0,6336	0,11816	0,63302	0,2316	0,85872	-0,4304	-0,38331	-0,2065	0	-0,43346	-0,26791	1	0,77361	-0,0053	-0,093	-0,4002	-0,3525	-0,5139	-0,4328	-0,4189	-0,6546	-0,1919	0,46289	0,46289
K12	-0,9481	-0,6736	-0,5423	-0,9514	0,21465	0,42433	0,31226	0,63567	-0,5394	-0,29239	-0,21567	-1	0,01389	-0,06181	0,77361	1	-0,3947	-0,0167	-0,2159	-0,2202	-0,2853	-0,2255	-0,2234	-0,3502	-0,1333	0,21572	0,21572
K13	0,40888	0,81877	0,33296	0,618	-0,8709	-0,0297	-0,9085	-0,334	-0,3104	0,6499	0,6499	1	-0,45676	-0,56073	-0,00534	-0,3947	1	0,33908	0,22763	0,31891	0,12244	0,19238	0,20806	-0,1112	0,1406	0,59192	0,59192
K14	-0,2369	0,44516	0,55129	0,09648	-0,6306	-0,014	-0,1774	-0,1568	-0,7662	-0,58215	0,21692	0	-0,028	-0,09104	-0,09304	-0,0167	0,33908	1	0,86424	0,86155	0,66422	0,84849	0,85957	0,28329	0,80821	0,67545	0,67545
K16	-0,0793	0,41621	0,7864	0,28658	-0,56	-0,5058	-0,1367	-0,3475	-0,4906	-0,39207	0,45206	0	0,42375	0,3209	-0,40016	-0,2159	0,22763	0,86424	1	0,99323	0,9498	0,99879	0,99959	0,72448	0,93476	0,25527	0,25527
K17	-0,0593	0,48072	0,77464	0,32444	-0,6265	-0,5129	-0,2177	-0,3319	-0,5141	0,46823	0,52866	0	-0,38918	0,28678	-0,35251	-0,2202	0,31891	0,86155	0,99323	1	0,94261	0,98736	0,9897	0,70415	0,93623	0,29892	0,29892
K18	0,0055	0,3313	0,81375	0,34609	-0,4392	-0,7421	-0,0876	-0,3983	-0,2678	-0,23415	0,54264	0	0,65454	0,54112	-0,51387	-0,2853	0,12244	0,66422	0,9498	0,94261	1	0,9572	0,95158	0,90005	0,89297	-0,0359	-0,0359
K19	-0,0744	0,38896	0,79945	0,28363	-0,5327	-0,5258	-0,1124	-0,367	-0,4629	0,35426	0,43788	0	0,45436	0,346	-0,4328	-0,2255	0,19238	0,84849	0,99879	0,98736	0,9572	1	0,99968	1	0,73236	0,23851	0,23851
K20	-0,0748	0,40376	0,79275	0,28555	-0,544	-0,5097	-0,1208	-0,3579	-0,4765	-0,36926	0,43683	0	0,43373	0,3302	-0,41886	-0,2234	0,20806	0,85957	0,99959	0,98736	0,9572	0,99968	1	0,73236	0,9312	0,23851	0,23851
K21	0,12169	0,10531	0,74729	0,3508	-0,1554	-0,9287	0,0447	-0,4545	0,10736	0,09192	0,50597	0	0,87693	0,75204	-0,65457	-0,3502	-0,1112	0,28329	0,72448	0,70415	0,90005	0,7473	0,73236	1	0,66552	-0,464	-0,464
K22	-0,1172	0,44059	0,54958	0,22366	-0,3886	-0,4347	0,06044	-0,0315	-0,443	-0,3227	0,33124	0	0,39308	0,46983	-0,19185	-0,1333	0,1406	0,80821	0,93476	0,93623	0,92783	0,9312	0,66552	1	0,25582	0,25582	
K26	-0,2488	0,46017	-0,0329	-0,0653	-0,6178	0,58233	-0,3945	0,18504	-0,8043	-0,76254	0,05055	0	-0,68315	-0,67168	0,46289	0,21572	0,59192	0,67545	0,25527	0,25527	-0,0359	0,21552	0,23851	-0,464	0,25582	1	0,25582

Table 5.10. Table of (I-pjk)

(I-pjk) Matrix

No	K01	K02	K03	K04	K05	K15	K23	K24	K25	K06	K07	K08	K09	K10	K11	K12	K13	K14	K16	K17	K18	K19	K20	K21	K22	K26
K01	0	0,36781	0,71813	0,08765	1,09498	1,28174	1,32356	1,48536	0,32806	0,65169	0,85804	0,47307	1,17331	1,03864	1,59762	1,94811	0,59112	1,2869	1,07929	1,05929	0,9945	1,07436	1,07484	0,87831	1,11721	1,24881
K02	0,36781	0	0,6205	0,17657	1,63681	1,13576	1,54474	1,24022	1,08371	1,36924	0,58231	0,27668	1,35428	1,20556	1,20591	1,67365	0,19123	0,55484	0,58379	0,51928	0,6687	0,61104	0,59624	0,89469	0,55941	0,53983
K03	0,71813	0,6205	0	0,44618	1,61425	1,67537	1,4318	1,84813	1,14625	1,21898	0,40753	0,53442	0,55564	0,85928	1,79625	1,54233	0,66794	0,44871	0,2136	0,22536	0,18625	0,20055	0,20725	0,25271	0,45042	1,03286
K04	0,08765	0,17657	0,44618	0	1,42551	1,4673	1,50953	1,5841	0,61476	0,96705	0,53385	0,28715	1,04977	0,9932	1,63363	1,95136	0,382	0,90352	0,71342	0,67556	0,65391	0,71637	0,71445	0,6492	0,77634	1,06532
K05	1,09498	1,63681	1,61425	1,42551	0	0,81479	1,1306	0,51753	0,39684	1,14637	1,75963	1,82702	0,8336	0,5525	0,88184	0,78595	1,87088	1,63061	1,56002	1,62648	1,43923	1,53269	1,54405	1,15544	1,38856	1,61785
K15	1,28174	1,13576	1,67537	1,4673	0,81479	0	0,84529	0,49069	1,28298	1,66952	1,27941	1,83975	1,67568	0,57567	0,36698	0,57567	1,02967	1,01399	1,56584	1,51293	1,74215	1,52576	1,56972	1,92871	1,4347	0,41767
K23	1,32356	1,54474	1,4318	1,50953	0,13806	0,84529	0	0,45029	0,73587	0,31488	1,76054	1,9583	0,72021	0,41115	0,87578	0,68774	1,90851	1,17744	1,13673	1,21772	1,08755	1,1124	1,12083	0,9553	0,93956	1,39448
K24	1,48536	1,24022	1,84813	1,5841	0,51753	0,99009	0,43029	0	1,14317	0,9767	1,463	1,54363	1,23164	0,85699	0,14128	0,36433	1,33396	1,15683	1,34752	1,33193	1,39826	1,36701	1,35787	1,45446	1,03147	0,81496
K25	0,32806	1,08371	1,14625	0,61476	0,39684	1,28298	0,73587	1,14317	0	0,15516	1,23019	0,99901	0,8221	0,64062	1,43043	1,53936	1,31044	1,76623	1,90556	1,51409	1,26783	1,46291	1,47649	0,89264	1,44295	1,8043
K06	0,65169	1,36924	1,21898	0,96705	1,14637	1,08327	0,31488	0,9767	0,15516	0	1,62193	1,5707	0,76313	0,53322	1,38331	1,29239	1,70624	1,58215	1,39207	1,46823	1,23415	1,35426	1,36926	0,90808	1,3227	1,76254
K07	0,85804	0,58231	0,40753	0,53385	1,75963	1,66952	1,76054	1,463	1,23019	1,62193	0	0,21893	0,6587	1,2065	1,21567	0,3501	0,78308	0,54794	0,47134	0,45736	0,56317	0,56212	0,56317	0,49403	0,60876	0,94945
K08	0,47307	0,27668	0,53442	0,28715	1,82702	1,27941	1,9583	1,54363	0,99901	1,5707	0,21893	0	1,23587	1,43563	1,223	1,51404	0,05993	0,84544	0,81187	0,72575	0,82439	0,83564	0,82743	0,93067	0,95692	0,69586
K09	1,17331	1,35428	0,55564	1,04977	0,8336	1,83975	0,72021	1,23164	0,8221	0,76313	0,6587	1,23587	0	0,16018	1,43346	0,98611	1,45676	1,028	0,57623	0,61082	0,34546	0,54564	0,56627	0,12307	0,60692	1,68315
K10	1,03864	1,20591	1,79625	0,85928	0,9932	0,5525	1,67568	0,41115	0,85699	0,40753	0,9592	1,3563	0,16018	0	1,26791	1,06181	1,56073	1,09104	0,6791	0,71322	0,45888	0,654	0,6698	0,24796	0,53017	1,67168
K11	1,59762	1,20591	1,79625	1,63363	0,88184	0,36698	0,87578	0,14128	1,43043	1,38331	1,2065	1,223	1,43346	1,26791	0	0,22639	1,00534	1,09304	1,40016	1,35251	1,51387	1,4328	1,41886	1,65437	1,19185	0,53711
K12	1,94811	0,67365	1,54233	1,95136	0,78595	0,57567	0,68774	0,36433	1,53936	1,29239	1,21567	1,51404	0,96611	1,06181	0,22639	0	1,39468	1,01666	1,21587	1,22019	1,28533	1,2255	1,22342	1,35019	1,13334	0,78428
K13	0,59112	0,18123	0,66704	0,382	1,87088	1,02967	1,90851	1,33396	1,31044	1,70624	0,3501	0,09593	1,45676	1,56073	1,00534	1,39468	0	0,66992	0,77237	0,68109	0,87756	0,80762	0,79194	1,11122	0,8594	0,40808
K14	1,2369	0,55484	0,44871	0,90352	1,63061	1,01399	1,17744	1,15683	1,76623	1,58215	0,78308	0,84544	1,028	1,09104	1,09304	1,01666	0,66692	0	0,13576	0,13845	0,33578	0,15151	0,14043	0,71671	0,19179	0,32455
K16	1,07929	0,58379	0,2136	0,71342	1,56002	1,50584	1,13673	1,34752	1,49056	1,39207	0,54794	0,81187	0,57623	0,6791	1,40016	1,21587	0,77237	0,13576	0	0,00677	0,0502	0,00121	0,00041	0,27552	0,06524	0,74473
K17	1,05929	0,51928	0,22536	0,67556	1,62648	1,51293	1,21772	1,33193	1,51409	1,46823	0,47134	0,72575	0,61082	0,71322	1,35251	1,22019	0,68109	1,3845	0,06677	0	0,05739	0,01264	0,0103	0,29585	0,06377	0,70108
K18	0,9945	0,6687	0,18625	0,65391	1,43923	1,74215	1,08755	1,39826	1,26783	1,23415	0,45736	0,82439	0,34546	0,43888	1,51387	1,28533	0,87756	0,33578	0,0502	0,05739	0	0,0428	0,04842	0,09995	0,10703	1,03595
K19	1,07436	0,61104	0,20055	0,71637	1,55269	1,52576	1,1124	1,36701	1,46291	1,35426	0,56212	0,83564	0,54564	0,654	1,4328	1,2255	0,80762	0,15151	0,00121	0,01264	0,0428	0	0,00332	0,2527	0,07217	0,78448
K20	1,07484	0,59624	0,20725	0,71445	1,54405	1,50972	1,12083	1,35787	1,47649	1,36926	0,56317	0,82743	0,56627	0,6698	1,41886	1,22342	0,79194	1,46043	0,00041	0,0103	0,04842	0,00032	0	0,26764	0,0688	0,76149
K21	0,87831	0,89469	0,25271	0,6492	1,15544	1,92871	0,9553	1,45446	0,89264	0,90808	0,49403	0,93067	1,2307	1,65457	1,35019	1,11122	0,71671	0,72552	0,2527	0,29585	0,09995	0,2527	0,26764	0	0,33448	1,46405
K22	1,11721	0,55941	0,45042	0,77634	1,38856	1,4347	0,93956	1,03147	1,44295	1,3227	0,66876	0,95692	0,60692	1,13334	1,19185	1,13334	0,8594	0,19179	0,06524	0,06377	0,10703	0,07217	0,0688	0,33448	0	0,74418
K26	1,24881	0,53983	1,03286	1,06532	1,61785	0,41767	1,39448	0,81496	1,8043	1,76254	0,94945	0,69586	1,68315	1,67168	0,53711	0,78428	0,40808	0,32455	0,74473	0,70108	1,03595	0,78448	0,76149	1,46405	0,74418	0

Table 5.11. Table showing Importance Weights of Criteria

Criteria No	Standard deviation σ_j	c_j	The correlation w_j	Weights of Criteria %
K01	0,38121832	9,44749252	0,03993273	3,99327253
K02	0,43667728	9,25265976	0,0391092	3,91092048
K03	0,37638633	7,64055945	0,03229517	3,22951684
K04	0,36904342	8,11810415	0,03431366	3,43136575
K05	0,46857849	13,9561554	0,05898997	5,89899719
K15	0,41168557	12,8053599	0,05412578	5,41257818
K23	0,38722187	10,3623705	0,04379974	4,37997376
K24	0,47201173	13,1836236	0,05572463	5,57246294
K25	0,40368671	11,3342912	0,04790786	4,79078588
K06	0,4398153	12,3797849	0,05232696	5,23269584
K07	0,41964136	9,23751864	0,03904521	3,90452063
K08	0,35433176	8,50068797	0,03593077	3,59307654
K09	0,39195616	8,76417532	0,03704448	3,70444755
K10	0,33579679	7,36272563	0,03112082	3,11208185
K11	0,39341453	11,5146058	0,04867001	4,86700139
K12	0,40824829	11,9267044	0,05041187	5,04118749
K13	0,39897829	9,48723602	0,04010071	4,01007134
K14	0,32664399	6,57351417	0,02778497	2,77849742
K16	0,3969398	7,26647414	0,03071398	3,0713982
K17	0,38030161	6,92606551	0,02927514	2,92751405
K18	0,40315698	7,34265978	0,031036	3,1036004
K19	0,39235379	7,19519029	0,03041268	3,0412679
K20	0,39560913	6,8298602	0,0288685	2,88684993
K21	0,4766679	7,93800732	0,03355242	3,3552423
K22	0,37009753	5,82392878	0,02461662	2,46166216
K26	0,38127629	5,41546275	0,02289011	2,28901146

Table 5.12. Weighting results obtained according to the criteria of the CRITIC Method

Primary Criteria Categories	Criteria		Weighting Rate $0 \leq x \leq 1$
Technique	K01	Energy Efficiency	0.0399327253
	K02	Economic Potential (GW/year)	0.0391092048
	K03	Operating Service Life (year)	0.0322951684
	K04	Global Installed Capacity (%)	0.0343136575
	K05	Capacity Factor (%)	0.0589899719
	K06	Probability of Failure and Accident Risk	0.0523269584
Economic	K07	Investment Cost (\$/kW)	0.0390452063
	K08	Fixed Op. and Maintenance Cost (\$/MW-year)	0.0359307654
	K09	Electricity Generation Cost (\$/Kw-h)	0.0370444755
	K10	LCOE Electricity Generation Cost (\$/MWh)	0.0311208185
	K11	Amortization Period (year)	0.0486700139
	K12	Specific Water Consumption (kg/MW)	0.0504118749
	K13	Land Use Requirement (km ² /MW)	0.0401007134
	K14	Turnkey Delivery Time (year)	0.0277849742
	K15	Government Incentives (\$/MW)	0.0541257818
Ecologic	K16	Nitrogen Oxide Emissions (g/MWh)	0.030713982
	K17	Carbon Dioxide Emissions (g-CO ₂ /GWh)	0.0292751405
	K18	Carbon Monoxide Emissions (g/MWh)	0.031036004
	K19	Sulfur Dioxide Emissions (g/MWh)	0.030412679
	K20	Particulate Emissions (g/MWs)	0.0288684993
	K21	Non-Methane Emissions (g/MWs)	0.033552423
Social	K22	External Cost	0.0246166216
	K23	Employment during Installation, Operation, and Maintenance (person/MW)	0.0437997376
	K24	Social Acceptability	0.0557246294
	K25	Technological Maturity	0.0479078588
	K26	Noise Factor	0.0228901146

As seen in Table 5.13, the capacity factor in technical criteria, state incentives in economic criteria, non-methane emissions in ecological criteria, and social acceptability in social criteria have gained weight compared to other criteria in their respective groups.

5.3. WASPAS Method Application for Ranking Renewable Energy Options

In the second stage of the process, renewable energy sources are ranked based on their performances in the criteria by using the WASPAS method. The decision matrix prepared in the CRITIC method is normalized using equations (4.9) and (4.10) for each criterion in terms of benefit and cost directionality. With this process, the first step of this method is completed. Table 5.14 lists the normalized data.

Table 5.13. Normalized Data

Normalized Table							
No	Criteria Options	Solar	Wind	HydroE	Biomass	Geoth.	Wave
K01	Energy Efficiency	0,233	0,289	1,000	0,444	0,178	0,167
K02	Ekonomic Potential (GW/yıl)	0,650	0,700	1,000	0,003	0,029	0,026
K03	Operating Life (year)	0,833	0,833	1,000	0,667	0,833	1,000
K04	Global Installed Capacity (%)	0,166	0,349	1,000	0,086	0,011	0,138
K05	Capacity Factor (%)	0,304	0,333	0,412	0,944	1,000	0,333
K15	Government Incentives (\$/kW)	1,000	0,489	0,427	0,840	0,587	0,444
K23	Installation, Operation, and Maintenance Employment (person/MW)	0,249	0,188	0,155	0,469	1,000	0,141
K24	Social Acceptability	0,849	1,000	0,357	0,948	0,979	0,373
K25	Technological Maturity	0,400	0,600	1,000	1,000	0,800	0,600
K06	Low Risk of Breakdowns and Accidents	0,542	0,529	0,818	0,900	1,000	0,600
K07	Investment Cost (\$/kW)	0,571	1,000	0,754	0,538	0,507	0,885
K08	Fixed Operation and Maintenance Cost (\$/MW-yr)	0,073	0,171	1,000	0,048	0,025	0,088
K09	Electricity Production Cost (\$/Kw-saat)	0,400	0,714	0,625	0,500	1,000	1,000
K10	LCOE Electricity Production Cost (\$/MWs)	0,381	0,649	0,572	0,476	1,000	0,531
K11	Amortization Period (year)	0,486	1,000	0,076	0,469	0,158	0,113
K12	Specific Water Consumption (m3/kWh)	1,000	1,000	0,000	1,000	1,000	1,000
K13	Land Requirement (km2/MW)	0,909	1,000	1,000	0,400	0,263	0,500
K14	Tumkey Delivery Time (year)	1,000	0,500	0,463	0,250	0,500	0,500
K16	Nitrogen Oxide Emissions (g/MWs)	0,001	0,004	0,006	0,000	0,008	1,000
K17	Carbon Dioxide Emissions (g-CO2/kWh)	0,268	1,000	0,458	0,048	0,289	0,447
K18	Carbon Monoxide Emissions (g/MWs)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000
K19	Sulfur Dioxide Emissions (g/MWs)	0,004	0,008	0,021	0,001	0,077	1,000
K20	Particulate Emissions (g/MWs)	0,000	0,001	0,002	0,000	0,008	1,000
K21	Non-Methane Emissions (g/MWs)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000
K22	External Cost	0,317	1,000	0,352	0,095	0,950	0,238
K26	Noise Factor (dB)	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

In the third step, the process of calculating the relative importance of the options has been completed. In this process, the weight values of the criteria obtained by the CRITIC method are included in the calculation to obtain the Weighted Decision Matrix. Then, using the values in this new table, the total relative importance of each option is calculated separately according to WSM and WPM.

The total relative importance of an option according to WSM is determined by the weighted sum of criterion values using equation (4.11). According to WPM, the criterion-based performance value of an option is calculated using equation (4.12), multiplied by the criterion weight. The results obtained are shown in Table 5.15.

Table 5.14. Performance Values of Options According to Criteria Weights Based on WPM and Total Relative Importance of Options According to WSM

Values	Solar	Wind	Hydropower	Biomass	Geothermal	Wave
WPM	0.098	0.110	0.075	0.046	0.104	0.297
WSM	0.474	0.544	0.496	0.468	0.521	0.530

Furthermore, the Common Generalized Criterion Value is calculated by applying a λ value ($\lambda=0.5$ in this case) using equation (4.13) on the WPM and WSM data. Thus, the process of ranking the options based on their total relative importance (Q_i) is completed. The option with the highest Q_i value is interpreted as the most suitable option. As a result of this thesis study, the following ranking has been obtained for the evaluation of renewable energy sources based on criteria for sustainability in our country.

Table 5.15: Result Values Obtained by WASPAS Method

Options	Result Values (Q_i)	Ranking
Wave	0.413	1
Wind	0.327	2
Geothermal	0.313	3
Hydropower	0.286	4
Solar	0.286	5
Biomass	0.257	6

6. RESULTS AND EVALUATIONS

In conclusion, based on the factors considered and the collected data, it is not possible to have a completely 100% clean and/or green energy source and production. The positive environmental impacts of renewable energy production are associated with their current usage and low greenhouse gas emissions. However, if the production and usage areas continue to increase, sufficient information on the long-term environmental impacts and the extent of the negative effects has not yet been obtained.

In our study, wave energy was identified as the energy source with the highest WASPAS score (0.413). Wind energy (0.327) and geothermal energy (0.313) ranked second and third, respectively. Hydropower (0.286), solar energy (0.286), and biomass energy (0.257) are energy sources with lower WASPAS scores.

These results provide a guide that can be considered when choosing and planning energy sources in the future. The numerical rankings obtained from the calculations confirm the fact that low-carbon energy sources supporting environmental sustainability should be preferred in the energy sector. In addition, the results can be considered by strategic decision-makers in the energy sector, and countries and companies wishing to transition to sustainable energy sources can select the most appropriate energy sources by taking these results into account.

However, we would like to emphasize that further research is needed to strengthen these results, i.e., to make them more reliable and comprehensive, and to consider more criteria. At this point, this study also shows that the WASPAS method can be used in the comparison process of energy sources and provide guidance in the decision-making process.

Additionally, the determined rankings may vary depending on other factors. In this study, only six different renewable energy sources were considered. When other renewable energy sources are included in the ranking process, the results may differ. The determinacy of the factors to be considered or required can vary from country to country, even from region to region. Each country, region, and local condition has different energy needs and

sources. Therefore, decision-makers in the energy sector should consider multiple criteria to select the most appropriate renewable energy sources for their conditions, taking these factors into account.

This study should be considered as only a guideline in terms of criteria and evaluation calculations and decisions related to the energy sector should be supported by more comprehensive studies with wider coverage.

Acknowledgment

This article has been prepared by utilizing the preliminary work of the master's thesis titled " The Selection Of Appropriate Renewable Energy Source For Turkey By Using CRITIC and WASPAS Methods" which will be conducted by Tuğba AYDIN under the supervision of Sibkat Kaçtoğlu, at Istanbul Ticaret University, Industrial Engineering from Institute of Nature and Science Graduate Department, Thesis-based Master's Program.

Conflict of Interest Statement

There are no conflicts of interest among the authors

Research and Publication Ethics Statement

The study has been conducted in accordance with research and publication ethics.

REFERENCES

- Akon Grup, 2022. Access Date: 13.02.2023.
<http://akongrup.com.tr/index.php/tr/portfolio/bandirma-hes-projesi/>
- Anadolu Ajansı, 2022. Access Date: 12.02.2023.
<https://www.aa.com.tr/tr/ekonomi/turkiyede-elektrik-tuketimi-gecen-yil-yuzde-12-artti/2470685>
- BP (2021). BP Statistical Review of World Energy 2022, 71st edition,
<https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>
- Cumhuriyet Newspaper, 2022. Access Date: 14.02.2023.
<https://www.cumhuriyet.com.tr/bilim-teknoloji/dunyanin-en-buyuk-dalga-enerji-santrali-turkiyeye-kurulacak-2011278>
- Çakır Süleyman & Perçin S. (2013). Performance Measurement in Logistics Companies with Multi-Criteria Decision Making Techniques. Ege Academic Review, Volume 13, No 4, page.452
- Delucchi M. A. ve Mark Z. J., Providing all global energy with wind, water, and solar power, Part II: Reliability, system and transmission costs and policies, Energy policy, 39, 3 (2011) 1170-1190.
- Diakoulaki, D., Mavrotas, G. ve Papayannakis, L. (1995). Determining objective weights in multiple criteria problems: the critic method. Computers & Operations Research, 22(7), 763-770.
- Dinler, A. (2019). An Overview of Renewable Energy Potential and Utilization in Turkey. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 100, 348-364.
- Edenhofer O., Pichs-Madruga R., Sokona Y., Seyboth K., Kadner S., Zwickel T., Eickemeier P., Hansen G., Schlomer S., Von Stechow C. ve Matschoss P., Renewable energy sources and climate change mitigation: Special report of the intergovernmental panel on climate change, Cambridge University Press, 2012.
- Energy Map, 2020. Access Date: 13.12.2022.

- <https://www.enerjiatlası.com/hidroelektrik/hasan-ugurlu-baraji.html>
- Energy Map, 2017. Access Date: 25.09.22.
<https://www.enerjiatlası.com/haber/elektrik-uretiminde-karbon-salinimi>
- Energy Map, 2021. Access Date: 25.02.2023.
<https://www.enerjiatlası.com/elektrik-uretimi/>
- Erdoğan, M., Şahin, M., & Kılınç, M. (2016). The Renewable energy potential of Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 820-832.
- Ersöz F. & Kabak M. (2010). Literature Review of Multi-Criteria Decision-Making Methods in Defense Industry Applications. *Journal of Defense Sciences, Turkish Military Academy No 9*, page 110.
- European Commission, Brussels, Belgium, 2022. Access Date: 13.02.2023. Energy:
https://ec.europa.eu/energy/index_en
- FEBEL, Energy Terminology, Seckin Printing, Ankara 1991, p. 5-7.
- Göktolga Z.G. & Gökalp B. (2012). Determination of Criteria and Alternatives Affecting Job Selection Using AHP Method. *Journal of Economics and Administrative Sciences*, Volume. 13, No 2, page 73.
- IEA (2020). *Renewables 2020: Analysis and forecast to 2025*. International Energy Agency.
- International Energy Agency, France, 20221. Access Date: 12.02.2023. <https://www.iea.org/>
- Janic M. & Reggiani A. (2002). An Application of the Multiple Criteria Decision Making (MCDM) Analysis to the "Selection of a New Hub Airport". *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, Vol 2, No 2, s.119.
- Kıracı, K. & Bakır, M. (2019). Performance measurement application in airline operations using the CRITIC-based EDAS method. Pamukkale University, *Journal of Social Sciences Institute*, 35, 157-174.
- Mardani A. & Nilashi M. & Zakuan N. & Loganathan N. & Soheilrad S. & Saman M.Z.M. & İbrahim O. (2017) "A Systematic Review and Meta-Analysis of SWARA and WASPAS Methods: Theory and Applications with Recent Fuzzy Developments." *Applied Soft Computing*. 52:265-292.
- Nilüfer Municipality, Bursa (2015). Feasibility Study for Biogas Production Plant from Organic Waste, Final Report.
- OMC Engineering Co., 2018-2019. Access Date: 13.02.2023
<https://www.omc.com.tr/projeler/tamamlanan-projeler/turkerler-jeotermal-enerji-santrali-3-projesi-uretim-boru-hatti-mekanik-imalat-ve-montaj-isleri>
- Renewable Energy World, 2022. Access Date: 05.01.2023.
<https://www.renewableenergyworld.com/>
- Research Gate, 2009. Access Date: 15.03.2022
<https://www.researchgate.net/publication/26825049>
- Sağlam Mustafa & Uyar Tanay Sıdkı (2006), "Wave Energy and Turkey's Technical Potential in Wave Energy". Department of Mechanical Engineering, Energy Division, Marmara University. Göztepe, İstanbul
- Selen Energy, 2021. Access Date: 15.02.2023.
<https://selenkaenerji.com/blog/ulkemizdeki-yenilenebilir-kaynakli-santrallerin-kapasite-faktoru-agustos-2021-17.html>
- Solar AVM, 2022. Access Date: 13.02.2023.

- <https://solaravm.com/11-soru-cevap-ile-gunes-elektrik-santralleri>
- “Supplier Selection Based on SWARA-WASPAS Methodology: An Example from Iron-Steel Industry in Turkey”, Academic Platform Journal of Engineering and Science 6-3, 113-120, 2018
- Şengül, Ö., & Öztop, H. F. (2018). The Renewable energy potential of Turkey: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 1883-1893.
- Tanay Sıdkı UYAR (Doç. Dr.), Turkish Young Businessmen Association: "Turkey's energy problems and proposed solutions", (2003)
- Tayalı H.A. (Dr.) (2020), Istanbul University, Faculty of Business Administration. "Academic Social Research Journal", Year: 5, No: 47, June 2017, page. 368-380.
- Presidency of the Republic of Turkey Strategy and Budget Directorate (2021). *Renewable Energy Directive*.
- Ministry of Foreign Affairs of the Republic of Turkey, 2022. Access Date: 20.09.2022. https://www.mfa.gov.tr/turkiye_nin-enerji-stratejisi.tr.mfa
- The Ministry of Energy and Natural Resources of the Republic of Turkey (2021). *Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Faaliyet Raporu 2020*.
- TEİAŞ, December 2021 Board Power Report
- TEİAŞ, 2021 <https://www.teias.gov.tr/tr-TR/aylik-elektrik-uretim-tuketim-raporlari>, 2021 Electricity Production-Consumption Report
- Thorpe, T W. "A Brief Review of Wave Energy", ETSU Report No R-120, (1999)
- Topçu, Y. İlker (Dr.) & Dr. Kabak Özgür, Istanbul Technical University Course Notes, Decision Analysis.
- Tosun Gavcar, C. & Organ, A. (2020), “Evaluation of Online Travel Agencies Selling with AHP-Grey Relational Analysis and AHP-WASPAS Methods” *BMIJ*, (2020), 8(1): 731-753
- Uludağ, Ahmet Serhat & Doğan, Hatice, A Service Quality Application Focused on the Comparison of Multi-Criteria Decision Making Methods, Çankırı Karatekin University, Journal of Faculty of Economics and Administrative Sciences Y. 2016 Cilt 6, Sayı 2, ss. 17-47
- World Bank, World Development Report 1993, ss. 246-247.
- World Resources Institute, USA, 2001. Erişim Tarihi: 12.02.2023 www.wri.org/climate,
- Yeh C.H. (2003). The Selection of Multi-Attribute Decision-Making Methods for Scholarship Student Selection. *International Journal of Selection and Assessment*, Vol11, No 4, s.291.
- Yeşil Aşk Online Publication, 2022. Access Date: 13.02.202. <https://www.yesilaski.com/dalga-enerjisi-ile-elektrik-uretimi.html>
- Yıldız, M., & Demirel, N. (2018). Turkey's renewable energy potential: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 2574-2584.
- Yılmaz Bektur, Nazım Bayraktar, "Energy and Environment, Mulkiye Association Magazine., Kasım 1993, No. 161, Vol. XVII, ss.5-6.

Additional Numbered References

- [1] Future Power Technology, 2020. Access Date:18.02.2023
<https://www.power-technology.com/comment/renewable-energy-reach-22-5-share-global-power-mix-2020/>
- [2] Phys Org, 2016. Access Date:15.12.2022, <https://phys.org/news/2018-06-tide-device-closer-green-power.html#jCp>
- [3] Özhan, E.; Abdalla S.: "Wind and Deep Sea Wave Atlas of Turkish Coasts", Middle East Technical University, (2002)
- [4] Thorpe, T W. "A Brief Review of Wave Energy", ETSU Report Number R-120, (1999).
- [5] Göksel Demirer, The Environmental Problems and Capitalism, Sorun Printing (in Turkish), İstanbul 1992, page. 30-34.
- [6] Niyazi Berkes, Mine Kışlahoğlu, Ecology and Environmental Sciences, Remzi Kitabevi, İstanbul 1990, page. 144.
- [7] FEBEL, a.g.e, ss.285-289; World Bank, World Development Report 1992, page. 122-123.
- [8] FEBEL, a.g.e, s.s. 285-287
- [9] Koray Bosal, "The Applications of Solar Energy in the World and Turkey," Faculty of Economics and Administrative Sciences Journal., Year: 1, No 1,2, p. 115.
- [10] The State of the Environment, Paris 1991, p. 234-235.
- [11] United Nations World Commission on Environment and Development, a.g.e, p. 243.
- [12] United Nations World Commission on Environment and Development, a.g.e, p. 245.
- [13] The World Energy Council, a.g.e, p. 67.
- [14] FEBEL, a.g.e, s. 3.
- [15] The United Nations World Commission on Environment and Development (WCED), a.g.e, p. 71.
- [16] Kenan Mortan, Applied Economics, Anadolu University Publications, No: 657, Eskişehir 1993, p. 18.
- [17] Cihan Dura, "Environmental Issues and Economics", TCSV Yayını, Ankara 1991, s. 79.
- [18] Vural Savaş, Development Economics, Beta Publication Distribution, İstanbul 1986, p. 40.
- [19] David Pearce v.d, Green Economy for Blue Water: New Opportunities for Sustainable Growth in Caribbean SIDS, Türkşen Kafaoğlu, A. Başer Kafaoğlu, Alan Publication, İstanbul 1993, p. 146.
- [20]. State Hydraulic Works General Directorate, www.dsi.gov.tr, Erişim: 04.04.2006.
- [21] M. Peston, Public Goods, and Public Sector Translate: Nihat Falay, Macmillan Economics Series, Ak Publications, İstanbul 1979. p. 47-55.
- [22] Mehmet Arif Demirer, Eco Politics, Anahtar Kitaplar Publications, İstanbul 1992, s. 135.
- [23] the official newspaper of the government of Turkey, 11.08.1983, No: 18132
- [24] Keleş Ruşen and Harmanlı Can, Environmental Science, İmge Publishing, Ankara 1993, p. 76.
- [25] Somersan Sema, Environment and Politics in Turkey, Metis Green Books, Metis Publishing, Istanbul 1993, P. 177.
- [26]. ŞEN Zekâi, "Clean Energy Opportunities in Turkey", Architect and Engineer Magazine, No: 33, April-May-June, 2004.

* The environmental and energy-related article on solar energy applications and developments was taken from the Proceedings of the Solar Energy Applications and Developments Symposium, Muğla, May 1994.

- [27] Turkish Republic State Planning Organization (DPT), “Specialized Commission Report on Electricity for the Eighth Five-Year Development Plan”, DPT: 2569 - ÖİK: 585, Ankara, 2001.
- [28] World Energy Council, 1992 Energy Report, Ankara 1993,
- [29] World Commission on Environment and Development, Our Common Future, 3rd Edition, TCSV Publication, Ankara 1991, p. 220-221.
- [30] Çokan, M., 2003. Wave energy (Wave power plants), Proceedings of the 2nd Renewable Energy Sources Symposium, 1(439), 118 - 125.
- [31] Özdamar, A., 2000. "A study on generating electricity from wave energy, The Case related Çeşme, Journal of Aquatic Products. Vol. No: 17, No: 1-2.
- [32] gooenergy.com
- [33] Eral, M., 1998. TÜBİTAK-TTGV Science-Technology-Industry Debates platform, Energy Technologies Policy Working Group Report, Ankara.
- [34] Ün, Ü.T., 2003. Wave energy technology, economy, environmental impact, and global status, Proceedings of the Renewable Energy Sources Symposium, İzmir.
- [35] Doç.Dr. Kayfeci Muhammet, 2011. Lecture Notes on Alternative Energy Sources
- [36] Varınca, K.B., Varank, G., 2005. Assessment of environmental impacts in wind energy production systems and proposed solutions. <https://docplayer.biz.tr/784324-Ruzgar-kaynakli-enerji-uretim-sistemlerinde-cevresel-etkilerin-degerlendirilmesi-ve-cozum-onerileri.html>
- [37] World Bank, World Development Report 1992, p. 196.
- [38] Erkul, H. 2012. Economic Contributions and Environmental Impacts of Geothermal Energy: The Case of Kızıldere Geothermal Field in Denizli <http://ybd.dergi.comu.edu.tr/dosyalar/Ybd/jeotermal-enerjinin-ekonomik-katkilari-ve-cevresel-etkileri-denizli-kizilde-2017-02-13-117.pdf>
- [39] Gündüz, O., 2018. Geothermal power plants and their environmental impacts. https://www.emo.org.tr/ekler/c3ef98f7b7293f3_ek.pdf
- [40] <https://www.dw.com/tr/barajlar-temiz-enerji-ve-ekolojik-zarar-i%C3%A7-i%C3%A7e/a-47940092>
- [41] <https://cevredestuenerji.com/biyokutle-enerji-santrallerinde-agaclar-yakilacak-mi/>
- [42] <https://yesildunyaguzelcevre.wordpress.com/2017/03/19/dalga-enerjisi-teknolojisi-nedir-avantajlari-ve-dezavantajlari-nelerdir-muhendislikveteknoloji-com/>
- [43] Maunsell, L. (2003). Electricity markets: an overview. Energy Policy, 31(2), 87-99.
- [44] IEA. (2018). Global EV Outlook 2018: Towards cross-modal electrification. International Energy Agency.
- [45] IRENA. (2019). Renewable power generation costs in 2018. International Renewable Energy Agency.
- [46] IRENA. (2020). Renewable Capacity Statistics 2020. International Renewable Energy Agency.
- [47] Bloomberg New Energy Finance. (2020). New Energy Outlook 2020. Bloomberg New Energy Finance.
- [48] Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems. (2020). Current and Future Cost of Photovoltaics: Long-term Scenarios for Market Development, System Prices and LCOE of Utility-Scale PV Systems. Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems.
- [49] Zhang, F., Chen, X., & Cui, S. (2019). Overview of Energy Storage Technologies for Grid Applications. Applied Sciences, 9(11), 2244.
- [50] Liu W.Y., “A review on wind turbine noise mechanism and de-noising techniques”, Renewable Energy, 108:311–320,(2017)

- [51] Doğanlı, M.2010. Wind Turbine Noise, Health Effects, and Proposed Regulations, Novosim Engineering.
- [52] M. C. Şenel ve E. Koç, 2017. Assessment of Environmental Impacts in Wind Turbines. Wind Energy, 10-14.
- [53] Işık Elif, “Investigation of the Psychosocial Effects of Noise Level in Hydroelectric Power Plants on Workers at the Place Where Noise Level Is Taken as Reference in Doctoral Thesis” Nisan 2019, Trabzon
- [54] Orhan Gönül, Ankara 201. Investigation of Chemical and Physical Risk Factors in Domestic Wastewater Treatment Plants by Ministry of Turkish Republic Labor and Social Security, General Directorate of Occupational Health and Safety.” (Occupational Health and Safety Expertise Thesis)
- [55] Key World Energy Statistics 2009, International Energy Agency (IEA), 2009.

Araştırma Makalesi

Holt-Winters ve Box-Jenkins Modellerini Kullanarak Su Tüketimi Tahmini: İstanbul Örneği

Ayşenur ÖLÇENOĞLU[†], Oğuz BORAT^{††}

[†] İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İstanbul, Türkiye

^{††} İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İstanbul, Türkiye

aysenur.olcenoglu@istanbulticaret.edu.tr, oborat@ticaret.edu.tr



0009-0009-9850-5851, 0000-0002-2242-6024

Atf/Citation: ÖLÇENOĞLU, A., BORAT, O., (2023). Holt-Winters ve Box-Jenkins Modellerini Kullanarak Su Tüketimi Tahmini: İstanbul Örneği, Journal of Technology and Applied Sciences 6(2) s.81-96 , DOI: 10.56809/icujtas.1330019

ÖZET

Su kaynakları, tarih boyunca şehirlerin konumlandırılmasında önemli bir rol oynamaktadır. Ancak günümüzde küresel ısınma ve ekolojik sistemin bozulması, yıllık yağışların azalmasına yol açmıştır. Ayrıca, hızlı nüfus artışı ve bilinçsiz su tüketimi de su kaynaklarının verimli kullanılmasını çevresel zorunluluk haline getirmiştir. Dolayısıyla, sürdürülebilirlik ve gelecek nesillerin devamı için su tüketimi yönetimi önem arz etmektedir. Bu bağlamda, su tüketimini etkileyen faktörlerin analizi ve gelecekteki taleplerin tahmin edilmesi hayati bir konudur. Türkiye'nin en kalabalık şehri olan İstanbul gibi büyük bir metropolün, su tüketimi ve tahminleri üzerine yapılan araştırmalar su temini ve tüketimi yönetimine önemli bir örnektir.

Su temini ve tüketimi yönetiminde, su dağıtım şebekesi çalışmalarında ve operasyon planlarında su tahminlerinden yararlanır. Gelecekteki su tüketimi talebini tahmin etmeye odaklanan bir su yönetiminin stratejisi hazırlamak; su tutma, depolama ve arıtma maliyetlerini optimize etme fırsatı sağlar.

Bu çalışmada İSKİ tarafından sağlanan İstanbul'un aylık su tüketim verileri ve TÜİK'ten elde edilen İstanbul'un yıllık nüfus verileri analiz edilmiştir. Elde edilen analiz sonuçlarına göre, Holt-Winters ve Box-Jenkins yöntemleri kullanılarak modeller oluşturulmuş olup, İstanbul ilindeki su tüketimine dair 2033 yılına kadar olan yıllık su tüketimi tahmini ve yıllık nüfus tahmini yapılmıştır. Oluşturulan modellerin performans değerleri karşılaştırılmıştır. En iyi tahmin modelleri olarak nüfus tahmini için ARIMA (3,1,2) ve su tüketimi tahmini için Toplamsal Winters' yöntemi seçilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, 2010 yılında kişi başına düşen su tüketim miktarı 58,69 m³/kişi iken, 2033 yılında bu miktarın 75,83 m³/kişi olması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Su Tüketimi Tahmini, Nüfus Tahmini, Zaman Serileri Analizi, Holt-Winters', Box-Jenkins

Forecasting Water Consumption Using Holt-Winters and Box-Jenkins Models: A Case Study of İstanbul

ABSTRACT

Water resources have played a significant role in the location of cities throughout history. However, today, global warming and the disruption of the ecological system have led to a decrease in annual precipitation. Additionally, rapid population growth and indiscriminate water consumption have made the efficient use of water resources an environmental necessity. Therefore, water consumption management is crucial for sustainability and the continuity of future generations. In this context, the analysis of factors affecting water consumption and the prediction of future demands are vital issues.

Research conducted on water consumption and forecasts in a large metropolis like İstanbul, Turkey's most populous city, serves as an important example for water supply and consumption management. In water supply and consumption management, water predictions are utilized in water distribution network studies and operational plans. Developing a water management strategy that focuses on predicting future water consumption demand provides an opportunity to optimize water retention, storage, and treatment costs.

Geliş/Received	:	19.07.2023
Gözden Geçirme/Revised	:	24.07.2023
Kabul/Accepted	:	01.08.2023

In this study, monthly water consumption data provided by ISKI (Istanbul Water and Sewerage Administration) and annual population data obtained from TUIK (Turkish Statistical Institute) for Istanbul have been analyzed. Based on the analysis results, models were created using the Holt-Winters and Box-Jenkins methods, and annual water consumption and population estimates for Istanbul until the year 2033 were made. The performance values of the generated models were compared. ARIMA (3,1,2) was selected as the best model for population estimation, and the Additive Winters' method was chosen for water consumption estimation. According to the results obtained, the per capita water consumption in the year 2010 was 58.69 m³/person, while it is expected to reach 75.83 m³/person by the year 2033.

Keywords: Water Consumption Estimation, Population Estimate, Time Series Analysis, Holt-Winters', Box-Jenkins

1. GİRİŞ

Günümüzde metropoller sürekli büyüyen, nüfusu artan buna bağlı olarak da enerji, su, yakıt tüketimi taleplerinin her geçen yıla göre artarak şekillendiği yerleşimlerdir. Türkiye'nin en büyük metropolü olan gerek konum gerekse stratejik ve ekonomik canlılığıyla bilinen İstanbul'un su kaynakları yönetimi kritik bir öneme sahiptir.

Sabit ve hareketli nüfus artışı, endüstriyel faaliyetler ve iklim değişikliği gibi etkenler, su kaynakları kısıtlı olan İstanbul'un su tüketim talebini artırmakta ve mevcut su kaynaklarının ihtiyaca yetmemesi nedeniyle su kaynaklarının yönetiminin çok dikkatli kullanılmasını gerektirmektedir.

Su hizmetleri yönetiminde, su tesislerini tasarlamak ve gelecekte gerekli olabilecek su ihtiyaçlarını planlama amacıyla uzun vadeli su tüketimi tahmin modellerinden yararlanır. İstanbul için bu görev İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi (İSKİ) Genel Müdürlüğü tarafından yerine getirilmektedir. İSKİ; nüfus artışı, endüstrileşme ve benzeri faktörler nedeniyle su kaynakları sistemleri strese girdikçe, su hizmetleri yönetiminde mevcut su kaynakları sistemlerinin işletme ve yönetimini optimize etmek zorundadır. Su kaynaklarının etkili bir şekilde yönetilmesi için kısa vadeli su talepleri modellerinden faydalanılmalıdır (Jain ve Ormsbee, 2002).

Bu makale, İstanbul'da su tüketimi konusunda bilgi ve farkındalığın artırılması, su kaynaklarının etkili bir şekilde korunması ve yönetilmesi için İstanbul'da su tüketimi üzerine bir analiz sunmaktadır. Mevcut su tüketimi durumunun anlaşılması ve gelecekteki su yönetimi stratejilerinin geliştirilmesine katkıda bulunmak; İstanbul'daki su kaynaklarının sürdürülebilirliği ve gelecekteki su tüketimi ihtiyaçlarının karşılanabilmesi konusunda karar vericilere yardım etmeyi amaçlamaktadır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Su önemli ve sınırlı bir kaynaktır, bu nedenle su kaynakları yönetimi için çalışmalar yapılması önemlidir. Literatürde su tahmini konusunda birçok farklı metot kullanılarak çalışmalar yapılmıştır.

Donkor ve ark. (2014), makalelerinde, kentsel su talebi tahmininde kullanılan farklı yöntemler ve modellerin bir arada kullanılmasının avantajları ve dezavantajlarını incelemişler ve öneriler sunmuşlardır.

Maidment ve ark. (1984) makalelerinde, belediyelerin aylık su kullanımını tahmin etmek için kullanılan bir kademeli modeli ele almışlardır. Kozłowski ve ark. (2018) yayınladıkları makalede, Holt-Winters yönteminin su tüketimi tahmininde kullanılabilirliğini ve doğru veri analizinin önemini vurgulamışlardır.

Aslan ve ark. (2018) makalelerinde Diyarbakır'ın içme suyu ihtiyacının Genetik İfadeli Programlama (GİP) yöntemi ile modellenmesini ele almıştır. Bu çalışmada kullanılan GİP, bir yapay zekâ metodudur ve bu yöntem optimizasyon ve tahminleme tekniği olarak kullanılmıştır.

Mombeni ve ark. (2013) yayınladıkları makalelerinde, SARIMA modellerini kullanmış ve İran'da su talebinin tahmin edilmesini ele almıştır.

Razali ve ark. (2018) yayınladıkları makalede, Holt-Winters ve ARIMA yöntemlerinin su tüketimi harcamalarının tahmininde kullanılabilirliğini, su kaynakları yönetimi için veri toplama ve analizinin önemi vurgulanmıştır.

Akdağ (2016) yaptığı çalışmada, Diyarbakır kent merkezi içme suyu talebi Yapay Sinir Ağları ve Winters' Yöntemi ve Box-Jenkins yöntemleri ile tahmin edilmesi ve tahminlerin karşılaştırılması amaçlanmıştır. Yapılan çalışmanın sonucunda, Yapay Sinir Ağları'nın diğer yöntemlere göre daha iyi tahmin sonuçlarına sahip olduğu belirlenmiştir.

Dutta ve ark. (2020) yaptıkları çalışmada, Hindistan'daki Chennai şehrini bir örnek olay olarak ele almakta ve dört büyük barajın su seviyelerini gelecek için tahminlemeyi amaçlamaktadır. Su rezervuarlarının, su seviyelerindeki mevsimsel etkilerle değişen trendi tahminlemek için SARIMA modeli kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda SARIMA yönteminin ARIMA yöntemine göre mevsimsel etkilerden dolayı daha iyi performans gösterdiğine ulaşılmıştır.

Jorge (2007) makalesinde, çok aşamalı su talebi tahmini için İspanya'daki 1 Ocak 2001'den 30 Haziran 2006'ya kadar olan günlük su tüketimi verilerinden yararlanarak; Holt-Winters, ARIMA ve GARCH modellerini

kullanmıştır. Tek değişkenli zaman serisi modellerinin kısa vadeli tahminlerde oldukça etkili olduğunu ve haftanın her günü için farklı yöntemlerin ve birleşik tahminlerin kullanılmasının tahmin doğruluğunu artırabileceği sonucuna varmıştır.

Almanjahie ve ark. (2019) yaptıkları çalışmada Ocak 2010 ve Temmuz 2017 arasında su tüketimi verileri kullanılarak, SARIMA modeli ile analiz edilmiştir. Çalışmanın sonucunda, Suudi Arabistan'daki su tüketimi için en iyi modelin SARIMA(1,0,1)(1,1,2)₁₂ olduğu belirlenmiştir. İlgili çalışma su üretimi yönetimi ve iyileştirilmesi amacıyla yetkililere rehberlik etmeyi amaçlamıştır.

Boudhaouia & Wira (2022) çalışmalarında gelecekteki su talebini tahmin etmeye odaklanan bir su yönetimi stratejisi önerilmektedir. Akıllı bina bağlamında su tüketimini izlemek için SARIMA, yapay sinir ağı modelleri (LSTM) ve MLP yöntemleri kullanılmıştır. Araştırma sonucunda, SARIMA ve MLP'nin birleşimiyle elde edilen tahminlerin, SARIMA modelinin tahminlerine göre %4,6 daha güvenilir ve doğru olduğu belirlenmiştir. Su maliyetlerini azaltmak ve tüketici faturalarını düşürmek için faydalı olabileceği önerisinde bulunmuşlardır.

Enbeyle ve ark. (2022) yaptıkları çalışmada, Güneybatı Etiyopya'daki Tepi kasabasında aylık su tüketimi tahminini ARIMA modelleri kullanılarak incelemiştir. Tepi kasabasında su tüketimi verilerine uygun ARIMA modelini belirlemek ve gelecekteki su tüketimini tahmin etmeyi amaçlamış olup, Ocak 2016'dan Aralık 2021'e kadar olan aylık su tüketim verileri ile çeşitli ARIMA modelleri arasında en uygun modelin ARIMA (1, 1, 1) olduğunu bulmuşlardır. Tahmin sonuçları, su tüketiminin Aralık ayından Eylül ayına doğru arttığını göstermektedir.

Wang ve ark. (2021) yaptıkları çalışmada, ARIMA ve ANN modellerinin yüzey suyu kalitesi tahmini performansını istatistiksel olarak karşılaştırmayı amaçlamışlardır. 6912 farklı SARIMA ve 110,592 farklı ANN modeli yapıları kullanılarak yaptıkları karşılaştırmada, ANN modellerinin daha düşük MSE ve daha iyi genelleme yeteneğine sahip olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Çalışmada, su kaynakları yönetimi ve kalite tahmini için ANN modellerinin tercih edilebileceğini vurgulanmaktadır.

Mousavi-Mirkalaei & Banihabib (2019) yaptıkları çalışmada, Tahran Metropolü için günlük Şehir İçi Su Tüketimini (UWC) tahmin etmek amacıyla ARIMA-NARX hibrit bir model önermiştir. UWC'nin lineer ve doğrusal olmayan bileşenleri, ARIMA ve yapay sinir ağı kullanılarak tahmin etmişlerdir. Güneş saati gibi ek bir özellikle geliştirilen hibrit model, diğer varsayımlarla birlikte değerlendirerek daha etkili bir alternatif olarak belirlenmişlerdir. Önerilen hibrit modelin performansı, ARIMA ve NARX modelleri ile karşılaştırılmış ve daha yüksek tahmin doğruluğuna sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Bu nedenle, hibrit modelin kullanılması, şehir içi su rezervuar yönetimi için daha iyi sonuçlar aldığını önermişlerdir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Zaman Serileri

Zaman serisi, belirli periyotlar (saatlik, günlük, haftalık, aylık, yıllık gibi) içinde toplanan veri gruplarıdır ve ihtiyaca uygun şekilde düzenlenir. Verilerin zaman serisi verisi olarak kabul edilebilmesi için, verilerin zaman içinde düzenli bir şekilde dağılması ve ölçüm aralıklarının düzenli ve eşit olarak bölünmesi gerekmektedir. Palma (2016), zaman serilerini zaman içinde ardışık olarak alınan gözlemlerin bir koleksiyonu olarak tanımlar. Zaman serilerinin birçok yöntemi bulunmaktadır. Yöntem seçiminde veri setinin özelliklerinden faydalanılır. Zaman serileri mevcut durum analizi ve gelecek tahminleri için kullanılmaktadır. Veriye en uygun tahmin yöntemi seçmek için zaman serisinin bileşenlerini dikkate almak gerekmektedir. Zaman serilerinin bileşenleri sistematik ve sistematik olmayan olarak ikiye ayrılır. Sistematik zaman serisi bileşenleri; trend, mevsimsellik ve döngüdür. Sistematik olmayan zaman serisi bileşeni ise gürültüdür (Shmueli & Lichtendahl, 2016).

Mevsimsellik bileşeni, verinin haftalık, aylık gibi belirli zaman aralıklarında meydana gelen değişimini ifade etmektedir (Dutta ve ark., 2020). Trend bileşeni, zaman serisinde uzun vadeli olarak gerçekleşen düzenli artış ve azalış; döngü bileşeni, zaman serisindeki uzun dönemde tekrar eden dalgalanmaları; gürültü bileşeni ise zaman serilerinde tahmin edilemeyen düzensiz hareketleri ifade etmektedir. Gürültü bileşenine örnek olarak doğal afetler, salgın hastalıklar, savaşlar gösterilebilir.

3.1.1. Holt's Yöntemi (Çift Üstel Düzleştirme)

Holt'un 1957 yılında literatüre kazandırdığı, Holt's yöntemi olarak da anılan çift üstel düzleştirme yöntemi, veride trend olması durumunda kullanılmaktadır. Trend; zaman serisinde uzun vadeli olarak artan ya da azalan eğimi temsil etmektedir. Model iki adet düzeltme parametresi üzerine odaklanmaktadır. Bunlardan biri üstel düzleştirme parametresi olan α ve trend düzleştirme parametresi olan β 'dir. Holt's yönteminin denklemi aşağıdaki gibidir;

Seviye Denklemi:

$$L_t = \alpha \cdot Y_t + (1 - \alpha) \cdot (L_{t-1} + T_{t-1}) \quad (1)$$

Trend Denklemi:

$$T_t = \beta \cdot (L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1} \quad (2)$$

Holt's Tahmin Denklemi:

$$F_{t+p} = L_t + p \cdot T_t \quad (3)$$

- L_t t zamanındaki düzleştirilmiş seviye değeridir,
- Y_t t zamanındaki gerçek gözlemlenen değerdir,
- T_t t zamanındaki trend değeridir,
- α Seviye düzleştirilmesi için üstel düzleştirme parametresidir, 0 ile 1 arasındadır,
- β Trend düzleştirilmesi parametresidir, 0 ile 1 arasındadır,
- L_{t-1} bir önceki zaman periyodunda düzleştirilmiş seviye değeridir,
- T_{t-1} bir önceki zaman periyodundaki trend değeridir,
- F_{t+p} t zamanında p adım sonrasının tahmin değeridir.

3.1.2. Winter's Yöntemi

Winter (1960), Holt's yöntemine mevsimsellik özelliğinin eklenmesi ve seride belirli periyodik dönemlerde tekrar eden desenlerin ortaya konması mevsimsellik özelliğinin görünür hale getirilmesini sağlamıştır. Holt-Winters' yöntemi Toplamsal Winters' Yöntemi ve Çarpımsal Winters' Yöntemi olarak ikiye ayrılmaktadır. Eğer veride mevsimsel etki trendle birlikte düzenli bir artış veya azalış gösteriyorsa Çarpımsal Winters' Yöntemi, mevsimsel etki düzensiz bir eğilimle artış veya azalış gösteriyorsa Toplamsal Winters' yöntemi kullanılması önerilmektedir (Hafid & Al-maamary, 2011). Çarpımsal Winters' yönteminde farklı mevsimlerdeki değerler yüzdelik oranlarda farklılık göstermektedir, buna karşılık Toplamsal Winters' yönteminde sabit miktarda farklılık ortaya çıkmaktadır (Shmueli & Lichtendahl ,2016).

Toplamsal Winters' Yöntemi

Seviye Denklemi:

$$L_t = \alpha(Y_t - S_{t-s}) + (1 - \alpha)(L_{t-1} + b_{t-1}) \quad (4)$$

Trend Denklemi:

$$b_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)b_{t-1} \quad (5)$$

Mevsimsellik Denklemi:

$$S_t = \gamma(Y_t - L_t) + (1 - \gamma)S_{t-s} \quad (6)$$

Toplamsal Winters' Tahmin Denklemi:

$$F_{t+m} = L_t + b_t m + S_{t-s+m} \quad (7)$$

Burada;

- α , ortalama düzeyi, 0 ile 1 arasındadır,
- β , eğim parametresi, 0 ile 1 arasındadır,
- γ , mevsimsellik parametresi ,0 ile 1 arasındadır,
- m , tahminin kaçınıcı gelecekteki döneme ait olduğunu belirten değer,
- S , mevsimselliğin uzunluğu
- Y_t , değişkenin t anındaki gözlemlenen değeri,
- L_t , serinin t dönemindeki seviyesi,
- b_t , trend bileşeni,
- S_t , mevsimsel bileşen,
- F_{t+m} , m kadar dönem sonrası için tahmin değerini belirtmektedir.

Çarpımsal Winters' Yöntemi

Seviye Denklemi:

$$L_t = \alpha \frac{Y_t}{S_{t-s}} + (1 - \alpha)(L_{t-1} + b_{t-1}) \quad (8)$$

Trend Denklemi:

$$b_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)b_{t-1} \quad (9)$$

Mevsimsellik Denklemi:

$$S_t = \gamma \frac{Y_t}{L_t} + (1 - \gamma)S_{t-s} \quad (10)$$

Çarpımsal Winters' Tahmin Denklemi:

$$F_{t+m} = (L_t + b_t m)S_{t-s+m} \quad (11)$$

Burada;

- α , ortalama düzeyi, 0 ile 1 arasındadır,
- β , eğim parametresi, 0 ile 1 arasındadır,
- γ , mevsimsellik parametresi, 0 ile 1 arasındadır,
- m , tahminin kaçınıcı gelecekteki döneme ait olduğunu belirten değer,
- S , mevsimselliğin uzunluğu
- Y_t , değişkenin t anındaki gözlemlenen değeri,
- L_t , serinin t dönemindeki seviyesi,
- b_t , trend bileşeni,
- S_t , mevsimsel bileşen,
- F_{t+m} , m kadar dönem sonrası için tahmin değerini belirtmektedir.

3.1.3. ARIMA (Otoregresif Entegre Hareketli Ortalama)

Box ve Jenkins (1970) tarafından bulunan, tam ismi Otoregresif Entegre Hareketli Ortalama (ARIMA) yöntemine göre gelecekteki oluşumların geçmişe benzer olduğu varsayılmaktadır. Bunun için durağanlaştırma işleminden faydalanılmaktadır.

ARIMA'nın 3 bileşeni bulunmaktadır;

- AR (Otoregresif bileşen): Geçmiş gözlemlerin bugünkü değerini tahminlemek için kullanılır. Bu bileşen, geçmiş değerlerin bir ağırlıklandırılmış toplamı olarak ifade edilir. AR bileşeni, serinin otokorelasyon yapısını temsil eder.
- I (Entegrasyon bileşeni): Serinin durağanlığını sağlamak için kullanılmaktadır. Entegrasyon, serinin fark alma işlemiyle birlikte düzgünleştirilmesini sağlar. Serinin fark alma seviyesi, I bileşeninin derecesini belirler. 0 ise seri durağandır.
- MA (Hareketli Ortalama bileşeni): Hata terimlerinin geçmiş değerlerini tahminlemek için kullanılır. Bu bileşen, hataların bir ağırlıklandırılmış toplamı olarak ifade edilir. MA bileşeni, serinin rasgele yapısını temsil eder.

ARIMA'nın genel formülü aşağıdaki gibidir;

$$y_t = c + \phi_1 y_{t-1} + \dots + \phi_p y_{t-p} + \theta_1 \varepsilon_{t-1} + \dots + \theta_q \varepsilon_{t-q} + \varepsilon_t \quad (12)$$

Burada;

- y_t , serinin zamanındaki gözlem değeri,
- c , sabit terim,
- ϕ_1, \dots, ϕ_p , AR bileşeninin kat sayıları,
- ε_t , rastgele hata terimi,
- $\theta_1, \dots, \theta_q$, MA bileşeninin katsayıları,
- p , AR bileşeninin derecesi,
- d , entegrasyon derecesi,
- q , MA bileşeninin derecesini belirtmektedir.

3.1.4. SARIMA (Mevsimsel Otoregresif Entegre Hareketli Ortalama)

Seride mevsimsellik etkisinin bulunduğu durumlarda kullanılmaktadır. SARIMA'nın genel formülü aşağıdaki gibidir;

$$y_t = c + \sum_{n=1}^p \phi_n y_{t-n} + \sum_{n=1}^q \theta_n \varepsilon_{t-n} + \sum_{n=1}^P \delta_n y_{t-mn} + \sum_{n=1}^Q \omega_n \varepsilon_{t-mn} + \varepsilon_t \quad (13)$$

Burada;

- y_t , serinin zamanındaki gözlem değeri (d ve mevsimsel D farklılaştırılmasıyla),
- c, sabit terim,
- ϕ_1, \dots, ϕ_p , AR bileşeninin kat sayıları,
- ε_t , rastgele hata terimi,
- $\theta_1, \dots, \theta_q$, MA bileşeninin katsayıları,
- p, AR bileşeninin derecesi,
- d, entegrasyon derecesi,
- q, MA bileşeninin derecesi,
- P: mevsimsel AR bileşenlerin sayısı,
- ω : mevsimsel AR bileşenlerin katsayıları,
- Q: mevsimsel MA bileşenlerinin sayısı,
- δ : mevsimsel tahmin hatalarının katsayıları,
- m: mevsimsel periyodun uzunluğunu belirtmektedir.

3.2. Performans Ölçütleri

Zaman serilerinde analiz veya tahmin yapmak için birden fazla yöntem kullanılabilir. Performans ölçütleri, zaman serisinde kullanılan modelin etkinliğini ve doğruluğunu değerlendirmek için kullanılan yöntemlerdir. Performans ölçütleri kullanılan yöntemin gerçek değerlerle ne kadar uyumlu olduğu ve kullanılan tahminin ya da analizin başarı derecesini ölçmektedir. Bu ölçütler, kullanılan modelin hatalarını analiz ederek, modelin doğruluğunu ve hassasiyetini değerlendirmektedir. Modelin performansını ölçmek için bu çalışmada aşağıdaki performans ölçütlerinden yararlanılmıştır, kullanılan performans ölçütlerinin denklemleri Denklem (14), Denklem (15), Denklem (16), Denklem (17)' de gösterilmiştir.

$$R^2 = 1 - \frac{SSR}{SST} \quad (14)$$

Burada,

- SSR (Sum of Squares Residual): Tahminin gerçek değerlerden sapmalarının karelerinin toplamı,
- SST (Sum of Squares Total): Bağımlı değişkenin ortalamasından sapmalarının karelerinin toplamı.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (y_t - y'_t)^2}{N-P}} \quad (15)$$

Burada,

- y_i , i'inci gözlem için gerçek değer,
- y'_i , i'nci gözlem için tahmin edilen değer,
- N, gözlem sayısı,
- P, sabit dahil olmak üzere parametre tahminlerinin sayısıdır.

$$MAPE = \frac{\sum |y_i - y'_i|}{n} * 100 \quad (16)$$

Burada,

- n , tahminde bulunulan dönem sayısı,
- y_i , i döneminde gerçekleşen değer,
- y'_i , i dönemi için tahmin değerini belirtmektedir.

$$\text{Normalize BIC} = \frac{-2 * \log(\text{likelihood}) + k * \ln(N)}{N} \quad (17)$$

Burada,

- k , modelin toplam parametre sayısı,
- N , verinin örneklem büyüklüğünü ifade etmektedir. (Schwarz,1978)

4. UYGULAMA

Bu bölümde İstanbul'un aylık su tüketim verileri ve İstanbul'un yıllık nüfus verileri analiz edilmiş olup geleceğe yönelik su tüketimi tahmin değerleri hesaplanmıştır. Bu tahmin değerleri için kullanılan veriler İSKİ ve TÜİK'ten alınmıştır (İBB, 2023; TÜİK, 2023). Holt-Winters ve Box-Jenkins modelleri ile tahmin çalışması yapılarak hesaplanmıştır.

4.1. Holt-Winters' ve Box-Jenkins Yöntemleri ile İstanbul Aylık Su Kullanımı ve Yıllık Nüfus Tahminleri

Bu çalışmada Box-Jenkins ve Holt-Winters' modelleri kullanılarak, tahmin değerlerini gösteren bir program olan IBM SPSS Statistics 27.0 ile çalıştırılmıştır. Gerekli hesaplamalar için kullanılan veriler 2010-2022 yılları arasındaki İstanbul'un yıllık nüfusu ve 2010-2021 yılları arasındaki aylık su tüketim miktarıdır. Bu çalışmada Box-Jenkins ve Holt-Winters' modellerini kullanarak, 2033 yılına kadar gerçekleşmesi beklenen İstanbul'un nüfusu ve su tüketim verileri hesaplanmıştır. TÜİK' den ve İSKİ'den alınan gerçek değerler ile gerçekleşen değerlerin karşılaştırması yapılarak hata oranları hesaplanmıştır. Bulunan hata oranının düşük çıkması bu çalışmada kullanılan modelin geçerli olduğunu ve gerçek değerlere yakın sonuç vermesi de modelin doğruluğunu göstermiştir.

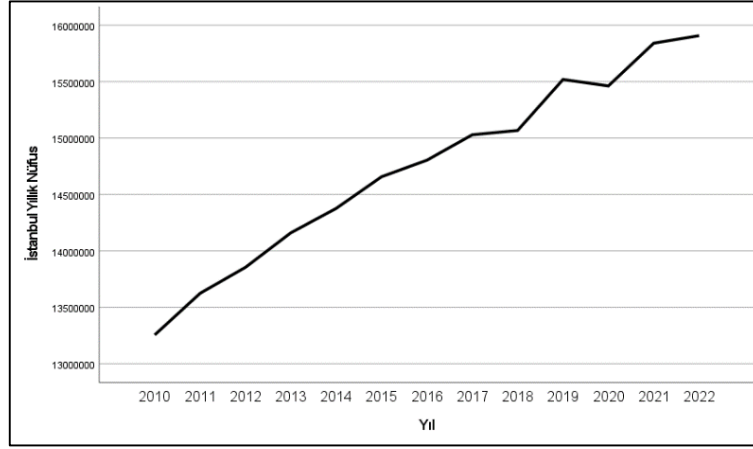
4.1.1. Veri Setleri

İstanbul aylık su tüketim verilerine İBB'nin açık veri portalından (İBB, 2023) ve İstanbul'un yıllık nüfus değerlerine TÜİK web sitesinden (TÜİK, 2023) ulaşılarak sırasıyla milyon m^3 ve milyon kişi cinsinden 2010–2021 yılları arasındaki İstanbul'un aylık su tüketimi verisi ve 2010–2022 yılları arasındaki İstanbul'un nüfus verisi kullanılmıştır. İlgili veri setleri Tablo 1'de, nüfus verileri ve doğal gaz tüketim verileri aynı tablo içerisinde verilmiştir.

Tablo 1. İstanbul'da yıllık nüfus ve su tüketimi, (İBB, 2023; TÜİK 2023)

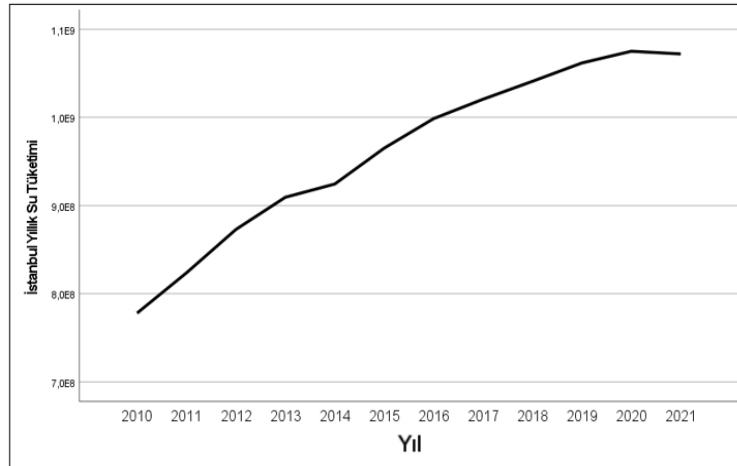
Yıl	Su Tüketimi (m^3)	Nüfus (Milyon Kişi)
2010	778.027.398	13.26
2011	823.749.364	13.62
2012	872.936.475	13.85
2013	909.454.169	14.16
2014	924.448.577	14.38
2015	965.155.404	14.66
2016	998.622.627	14.80
2017	1.020.641.179	15.02
2018	1.040.965.331	15.06
2019	1.061.769.837	15.52
2020	1.075.063.993	15.46
2021	1.072.001.098	15.84
2022	Henüz yayınlanmadı	15.91

Şekil 1’de İstanbul’un yıllara göre nüfus değişimi gözlenmektedir, 2020 yılından 2021 yılına kadar olan dönemde nüfusta hafif bir düşüş mevcuttur. Bu düşüşün, Covid-19 salgınının etkilerinden kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Covid-19 ve benzeri etkilerin olmaması halinde nüfusun artan bir eğilim göstereceği söylenebilir (TÜİK, 2023).



Şekil 1. İstanbul’un yıllara göre nüfus değişimi (2010-2022), (TÜİK 2023)

Şekil 2’de İstanbul’un 2010-2021 yılları arasındaki yıllık su tüketimi verilmiştir, İstanbul su tüketiminin düzenli bir artış gözlemlenmektedir (İBB, 2023).



Şekil 2. İstanbul’un yıllık su tüketimi (2010-2021), (İBB, 2023).

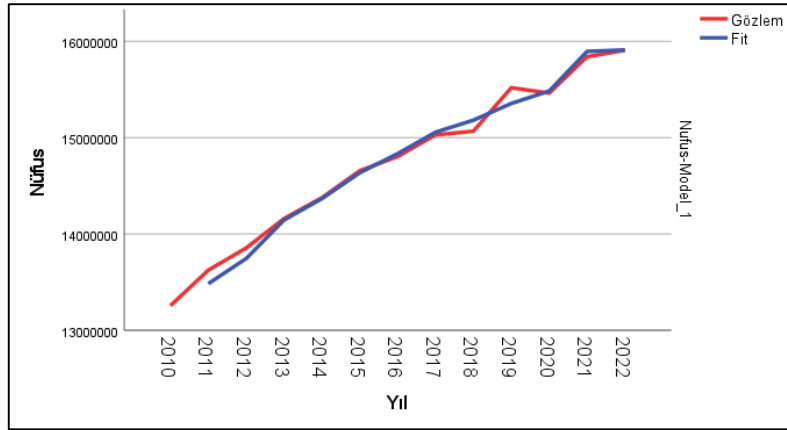
4.1.2. İstanbul’un Yıllık Nüfus Tahmini

Yıllık nüfus verilerinde mevsimsel etkiler bulunmadığından, çift üstel düzleştirme yöntemi olarak da adlandırılan Holt’s yöntemi ve ARIMA yöntemi çalışılmıştır. Çalışmada 21 adet ARIMA modeli uygulanmış ve performans ölçütleri bakımından en uygun olan 2 model seçilmiştir. İstanbul yıllık nüfus tahmini için uygulanan yöntemlerin performans ölçütleri Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2. Holt’s ve ARIMA modelleri performans ölçütleri

Modeller	R-kare	RMSE	MAPE	Normalize BIC
Holt’s Linear	0,983	114707,6	0,568	23,695
ARIMA (1,1,0)	0,982	105044,2	0,579	23,538
ARIMA (3,1,2)	0,988	113616,5	0,404	24,524

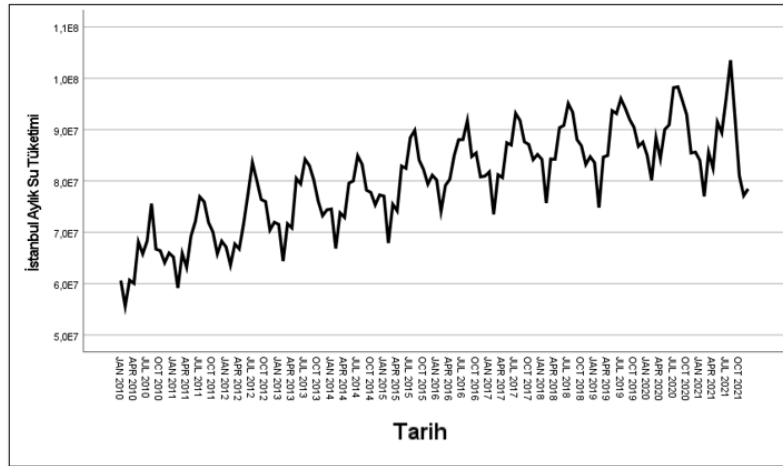
Performans ölçütlerine göre ARIMA (1,1,0) modelinin MAPE değeri en yüksek değerde olmasına rağmen diğer performans ölçütlerinde iyi bir performans sergilemiştir. Modelin R- Kare değeri yüksek, RMSE değeri diğer modellere göre düşük ve Normalize BIC değeri de düşüktür. Bu model üç model arasında en düşük Normalize BIC değerine sahiptir ve bu nedenle verilere en uygun olanı olarak görünebilir ancak, daha düşük bir BIC değeri her zaman en iyi model uyumunu anlamına gelmemektedir ve R-kare ile MAPE değerleri de göz önünde bulundurulması gerekmektedir. ARIMA (3,1,2) modeli, en yüksek R kare değerine sahip ve en düşük MAPE değerine sahiptir. Seçim yaparken kullanım amacına göre en uygun olan model seçilmesi gerekmektedir. Model seçiminde doğruluğun en önemli faktör olduğu durumda ARIMA (3,1,2) modeli İstanbul yıllık nüfus tahmini için en uygun model olarak seçilmiştir. Seçilen modelinin ARIMA (3,1,2) verilere uygulanması ile elde edilen gerçek değerleri ve modelin oluşturmuş olduğu değerlere ait grafik Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. ARIMA (3,1,2) modeli gerçek ve model değerleri

4.1.3. İstanbul'un Aylık Su Tüketimi Tahmini

Ocak 2010 ile Eylül 2021 ayları arasındaki İstanbul'a ait su tüketim verilerinin değişimi Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4. İstanbul'un aylık su tüketimi (Ocak 2010- Eylül 2021), (İSKİ,2023)

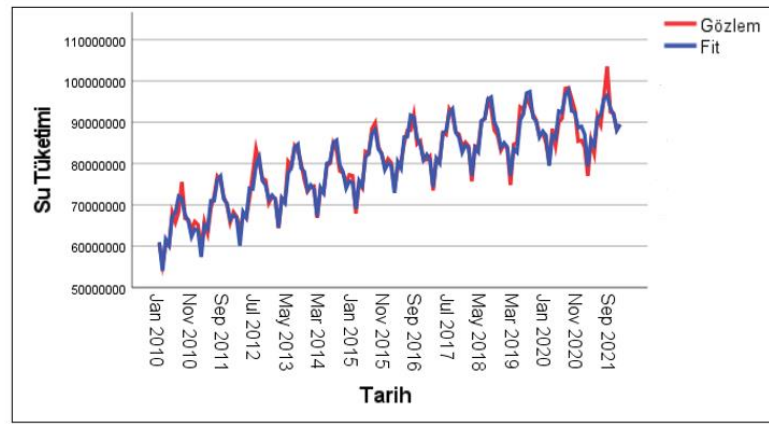
Şekil 4'teki verilerde belirgin bir şekilde, zamana göre su tüketiminin aylara göre sürekli arttığı görülmektedir; bu da her bir farklı ay için benzer bir eğilim olduğunu göstermektedir. Yıl içindeki belirli periyotlarda tekrarlayan artış ve azalışlar aylara karakteristik bir özellik kazandırmaktadır; bu da verilerde mevsimsellik özelliğinin bulunduğunu göstermektedir. Verilerde bu özelliklerin bulunmasından dolayı, mevsimsel zaman serisi yöntemlerini kullanmak tahmin sonuçlarının daha sağlıklı olmasını sağlar. İstanbul'un aylık su tüketimi tahminini yapmak için Toplamsal Winters', Çarpımsal Winters' ve SARIMA yöntemleri çalışılmıştır. Çalışmada 21 adet SARIMA yöntemi uygulanmış ve performans ölçütleri bakımından en uygun model olan SARIMA(2,1,2)(1,1,2)₁₂

modeli seçilmiştir İstanbul'un aylık su tüketimi tahmini için uygulanan modellerin performans ölçütleri Tablo 3'te gösterilmiştir.

Tablo 3. İstanbul aylık su tüketimi modelleri performans ölçütleri

Fit Statistics	R-squared	RMSE	MAPE	Normalize BIC
ARIMA (2,1,2)(1,1,2)	0,955	1904035	1,799	29,222
Toplamsal Winter's	0,971	1647238	1,525	28,735
Çarpımsal Winters'	0,969	1713869	1,565	28,814

Performans ölçütlerine göre en uygun model olan Toplamsal Winters' yöntemi olarak seçilmiştir. Seçilen Toplamsal Winters' modelinin verilere uygulanması ile elde edilen gerçek değerleri ve modelin oluşturmuş olduğu değerlerler grafiği Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5. Toplamsal Winters' modeli gerçek ve model değerleri

4.1.4. Araştırma bulguları ve sonuçlar

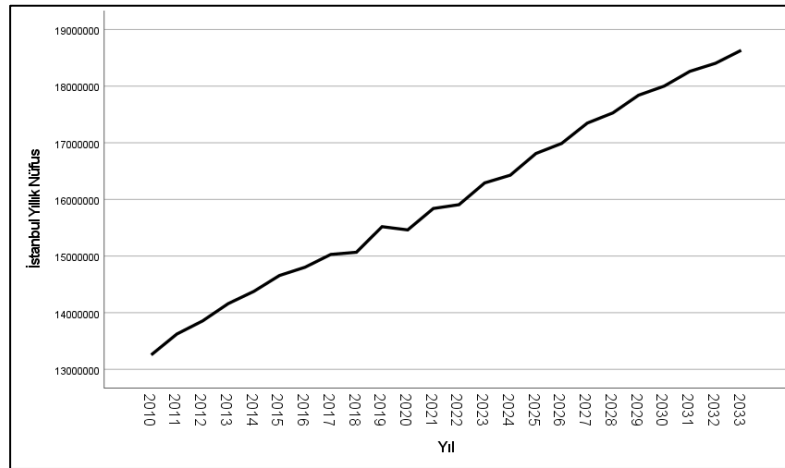
Elde edilen sonuçlar incelendiğinde; İstanbul yıllık nüfus tahmini için en uygun modelin ARIMA (3,1,2) olduğu, İstanbul'un aylık su tüketim tahmini için en uygun modelin Toplamsal Winters' olduğu sonucuna ulaşılmıştır. İstanbul Nüfus tahmini için 2010-2022 yılına ait veriler, İstanbul su tüketimi tüketim tahmini için 2010-2021 yılına ait veriler kullanılmıştır. Performans ölçütleri karşılaştırılarak verilere en uygun yöntemler olan ARIMA (3,1,2) modeli kullanılarak 2033 yılına kadar İstanbul yıllık nüfus tahmini yıllık olarak hesaplanmış ve Toplamsal Winters' modeli kullanarak 2033 yılına kadar İstanbul aylık su tüketimi tüketim tahmini hesaplanmış olup yıllık değere çevrilmiştir. Tablo 4'te İstanbul'un 2010- 2022 yılları arasındaki gerçek nüfus değerleri ve ARIMA (3,1,2) modelini kullanarak hesaplanmış 2023-2033 yılları arasındaki tahmin değerleri bulunmaktadır.

Tablo 4. 2010- 2033 yılları arasında İstanbul nüfusu gerçek ve tahmini değerleri

Yıl	Nüfus (Milyon Kişi) Gerçek Değer	Nüfus (Milyon Kişi) Tahmin Değeri
2010	13.26	
2011	13.62	13.48
2012	13.85	13.75
2013	14.16	14.15
2014	14.38	14.37
2015	14.66	14.64

2016	14.80	14.83
2017	15.02	15.06
2018	15.06	15.18
2019	15.52	15.36
2020	15.46	15.48
2021	15.84	15.90
2022	15.91	15.91
2023	Henüz yayınlanmadı	16.29
2024		16.43
2025		16.81
2026		16.99
2027		17.35
2028		17.53
2029		17.84
2030		18.00
2031		18.26
2032		18.40
2033		18.63

Tablo 4'e göre 2010 yılında 13,26 milyon kişi olan nüfus, 2022 yılında yaklaşık olarak 16 milyon kişiye ulaşmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucu 2033 yılında nüfusun 18,63 milyon kişiye ulaşması beklenmektedir. Bu nüfus artışı, demografik faktörler, göç, doğum oranları ve diğer faktörler gibi çeşitli etkenlerden kaynaklanabilir. Şekil 6'da İstanbul'un 2010- 2022 yılları arasındaki gerçek nüfus değerleri ve ARIMA (3,1,2) modelini kullanarak hesaplanmış 2023-2033 yılları arasındaki tahmin değerlerinin grafiği bulunmaktadır.



Şekil 6. İstanbul yıllık nüfus grafiği (2010-2033)

Nüfus artışı, bir ülkenin ekonomik, sosyal ve politik durumuna da etki edebilir ve kaynakların kullanımı, altyapı, eğitim ve sağlık hizmetleri gibi alanlarda zorluklar yaratabilir. Nüfus artışı, su kaynaklarının daha fazla kullanılması ve su tüketiminin artmasına neden olabilir. Bu nedenle, nüfus artışının yönetimi ve buna yönelik denetim ve plan yapılması, bir ülkenin sürdürülebilir kalkınması için önemlidir.

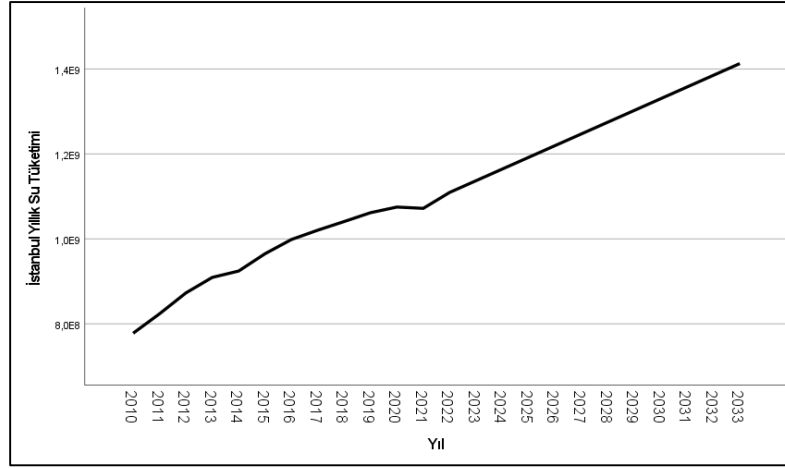
Tablo 5'te İstanbul'un 2010- 2021 yılları arasındaki gerçek su tüketim değerleri ve tahmin değerleri Toplamsal Winters' yöntemi kullanarak hesaplanmış olup ilgili tabloda 2022- 2033 yılları arasındaki yıllık su tüketim değerleri bulunmaktadır.

Tablo 5. 2010- 2033 yılları arasında İstanbul yıllık su tüketimi gerçek ve tahmini değerleri

Yıl	Yıllık Su Tüketimi (m ³) Gerçek Değer	Yıllık Su Tüketimi (m ³) Tahmin Değeri
2010	778.027.398	776.585.273
2011	823.749.364	821.341.126
2012	872.936.475	865.793.271
2013	909.454.169	908.975.120
2014	924.448.577	926.887.498
2015	965.155.404	958.966.067
2016	998.622.627	1.001.537.796
2017	1.020.641.179	1.018.792.468
2018	1.040.965.331	1.047.703.116
2019	1.061.769.837	1.060.083.312
2020	1.075.063.993	1.081.824.012
2021	1.072.001.098	1.074.596.011
2022	Henüz yayınlanmadı	1.109.527.969
2023	Henüz yayınlanmadı	1.137.103.205
2024		1.164.678.442
2025		1.192.253.677
2026		1.219.828.913
2027		1.247.404.150
2028		1.274.979.385
2029		1.302.554.623
2030		1.330.129.858
2031		1.357.705.093
2032		1.385.280.331
2033		1.412.855.566

2010 yılından itibaren su tüketiminde önemli bir artış görülmektedir. 2010 yılında 778 milyon m³ olan su tüketimi, 2021 yılında 1,1 milyar metreküp tüketime ulaşmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucu tüketimin 2033 yılında 1,41 milyar m³'e ulaşması muhtemeldir.

Şekil 7'de Toplamsal Winters' modelini kullanarak hesaplanmış 2022- 2033 yılları arasındaki yıllık su tüketim değerlerinin grafiği bulunmaktadır.



Şekil 7. İstanbul yıllık su tüketimi grafiği (2010-2033)

Şekil 7 incelendiğinde yıllık su tüketim miktarının her yıl arttığı görülmektedir ve su tüketim miktarının 2033 yılına kadar nüfusa bağlı olarak her yıl artacağı ön görülmektedir. Su tüketimindeki artış sürdürülemez olup su tüketimi miktarını azaltmak için gerekli adımlar atılması gerektiği önem arz etmektedir.

Tablo 6'da tahmin modelleri kullanarak oluşturulan 2010 – 2033 yılları arasındaki kişi başına düşen su tüketim miktarını göstermektedir. Tablo 6'da yıllara göre kişi başına düşen su tüketim miktarı, yıllık su tüketimi ve nüfus verileri kullanılarak her yıl için hesaplanmıştır.

Tablo 6. 2010- 2033 yılları arasında kişi başına düşen su miktarı

Yıl	Yıllık Su Tüketimi (m ³)	Nüfus (Milyon Kişi)	Kişi Başına Düşen Su Tüketim Miktarı (m ³ /Kişi)
2010	778.027.398	13.26	58.69
2011	823.749.364	13.62	60.46
2012	872.936.475	13.85	63.01
2013	909.454.169	14.16	64.22
2014	924.448.577	14.38	64.30
2015	965.155.404	14.66	65.85
2016	998.622.627	14.80	67.46
2017	1.020.641.179	15.02	67.91
2018	1.040.965.331	15.06	69.09
2019	1.061.769.837	15.52	68.42
2020	1.075.063.993	15.46	69.53
2021	1.072.001.098	15.84	67.67
2022	1.109.527.969	15.91	69.75
2023	1.137.103.205	16.29	69.79
2024	1.164.678.442	16.43	70.89
2025	1.192.253.677	16.81	70.92
2026	1.219.828.913	16.99	71.80
2027	1.247.404.150	17.35	71.91
2028	1.274.979.385	17.53	72.74

2029	1.302.554.623	17.84	73.01
2030	1.330.129.858	18.00	73.89
2031	1.357.705.093	18.26	74.35
2032	1.385.280.331	18.40	75.27
2033	1.412.855.566	18.63	75.83

Tablo 6'da 2010 yılında kişi başına düşen su tüketim miktarı 58,69 m³/kişi iken, 2033 yılında bu miktar 75,83 m³/kişi olarak belirlenmiştir. Kişi başına düşen su tüketim miktarını hesaplamak, su tüketim alışkanlıklarını ve suyun verimli kullanımını anlamak için önemlidir. İlgili hesaplama su kaynaklarının verimli kullanımı ve sürdürülebilir su yönetimi politikalarının oluşturulmasına yardımcı olabilir. Tablo 6'da görüldüğü üzere, kişi başına düşen su tüketimi yıllar arasında farklılık göstermektedir. Bunun nedeni, su kullanımı alışkanlıklarının yanı sıra nüfusun da yıllara göre artmasıdır.

Su kaynakları, sınırlı bir doğal kaynaktır ve artan nüfus ve su ihtiyacı, su kaynaklarının tükenmesine neden olabilir. 2033 yılında su tüketiminin artmaya devam etmesi beklenmektedir, bu nedenle sürdürülebilir bir su kaynakları planlaması yapılması önemlidir.

5. SONUÇLAR

Su, yaşamın devamı için hayati öneme sahip olan en değerli kaynaklardan biridir. Hem insanlar hem de hayvanlar ve bitkiler, yaşamlarını sürdürebilmek ve sağlıklı bir şekilde gelişebilmek için suya ihtiyaç duyarlar. Sadece içme ve temizlik için değil, tarım, endüstri, enerji üretimi gibi birçok alanda da su kullanımı kaçınılmazdır. Ancak su kaynakları sınırlıdır ve dünya genelinde suya erişim sorunu yaşanmaktadır. Bu nedenle, su kaynaklarının sürdürülebilir şekilde yönetilmesi büyük önem taşır.

İstanbul gibi kalabalık bir nüfusa sahip büyük şehirlerde, su kaynaklarının yönetimi ve gelecekteki su tüketimi tahminleri oldukça kritik bir konudur. İstanbul'un su kaynağı, barajlardan elde edilen su miktarına bağlıdır ve yıllık olarak belirli bir verimliliğe sahiptir. Ancak mevsimsel etkiler gibi faktörler nedeniyle bu verimlilik değişkenlik gösterir. Dolayısıyla, su kaynaklarının sürdürülebilirliği için bu değişkenliklerin analiz edilmesi ve gelecekteki su tüketimine ilişkin tahminlerin yapılması önemlidir.

Bu amaçla, Holt-Winters ve Box-Jenkins yöntemleri gibi istatistiksel modeller kullanılarak 2033 yılında İstanbul'da gerçekleşmesi beklenen su tüketimi tahmini yapılmıştır. Bu modeller, geçmiş verileri analiz ederek ve mevsimsel trendleri dikkate alarak gelecekteki su tüketimini tahmin etmeye yardımcı olur. Elde edilen sonuçlara göre, 2010 yılında 13,26 milyon kişi olan İstanbul nüfusunun, 2033 yılında 18,63 milyon kişiye ulaşması beklenmektedir. Benzer şekilde, 2010 yılında 778 milyon m³ olan su tüketiminin, 2033 yılında 1,41 milyar m³'e ulaşması tahmin edilmektedir.

Ancak, tahminlerin doğruluğunu etkileyebilecek gürültü olarak adlandırılan doğal afetler, savaşlar, pandemiler gibi beklenmedik olayların da göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bu tür olaylar, su tüketimini etkileyebilir ve yönetim stratejilerinin bu tür belirsizlikleri dikkate alacak şekilde oluşturulması önemlidir.

Bu çalışma, İstanbul'un sınırlı su kaynaklarının gelecekte de sürdürülebilir bir şekilde yönetilebilmesi için önemli bir rehber niteliğindedir. Aynı zamanda, su kaynaklarının sürdürülebilirliği ve gelecekteki su tüketimi ihtiyaçlarının karşılanması konusunda İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi (İSKİ) gibi kurumlarda çalışan araştırmacılara ve karar vericilere yardımcı olmak amacıyla yapılmıştır. Benzer araştırmalar, diğer şehirlerde de uygulanarak su kaynakları yönetiminin genel olarak iyileştirilmesine katkı sağlayabilir. Gelecek nesillerin sağlıklı ve sürdürülebilir bir çevrede yaşamaları için planlama, tasarım, yönetim sistemlerinin bu ve benzeri çalışmalarla desteklenmesinin faydalı olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Akdağ, R. (2016). Yapay Sinir Ağları, Destek Vektör Makineleri ve Box-Jenkins Yöntemleriyle Kentsel İçmesuyu Talebi Tahmini ve Karşılaştırmalı Analizi, *Business and Economics Research Journal*,123-138.
- Almanjahie, I., Chikr-Elmezouar, Z., Ahmed, B., (2019). Modeling and forecasting the household water consumption in Saudi Arabia. *Applied Ecology and Environmental Research*. 17. 1299-1309.
- Aslan, B., Önen, F., & Hamidi, N. (2018). Diyarbakır Kenti içme suyu ihtiyacının genetik ifadeli programlama ile modellenmesi. *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 859-870.
- Boudhaouia, A., Wira, P. "SARIMA and neural network models combination for time series forecasting: Application to daily water consumption," (2022). 2022 International Conference on Theoretical and Applied Computer Science and Engineering (ICTASCE), Ankara, Turkey, 169-174.
- Box, G., & Jenkins, G. (1970). *Time Series Analysis-Forecasting and Control*. San Francisco: Holden Day, 553.
- Donkor, E., Mazzuchi, T., & Soyer, R., Roberson, A., (2014). Urban Water Demand Forecasting: Review of Methods and Models. *Journal of Water Resources Planning and Management*. 140. 146-159.
- Dutta, A., Chakrabarti, A.,Gautam, J., "Application of SARIMA for Prediction of Water Storage Levels for a Metropolitan Area: Chennai, a Case Study," (2020). International Symposium on Advanced Electrical and Communication Technologies (ISAECT), Marrakech, Morocco, 2020, 1-8.
- Enbeyle, W., Hamad, A., Al-Obeidi, A., Andargie, S., Gelaw, A., Markos, A., Abate, L., Alemu, B., (2022). Trend Analysis and Prediction on Water Consumption in Southwestern Ethiopia. *Journal of Nanomaterials*.
- Hafid, M.S. & Al-maamary, G. H. (2011). Short Term Electrical Load Forecasting Using Holt-Winters Method, *Al-Rafidain Engineering*, 20 (6), 15-22.
- Holt, C.C. (1957). *Forecasting Seasonals and Trends by Exponentially Weighted Moving Averages*. ONR Memorandum, Vol. 52, Carnegie Institute of Technology, Pittsburgh
- Jain, A., & Ormsbee, L. E. (2002). Short-term Water Demand Forecast Modeling Techniques-Conventional Methods Versus AI, *American Water Works Association*, 94, 64-72.
- Jorge, C., (2007). Forecasting water consumption in Spain using univariate time series models.
- Kozłowski, E., Mazurkiewicz, D., Kowalska, B., & Kowalski, D. (2018). Application of Holt-Winters method in water consumption prediction. R. K. Ryszard içinde, *Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji* (s. 627-634).
- Maidment, D. R., and Parzen, E., (1984). Cascade Model of Monthly Municipal Water Use, *Water Resources Research*, 15-23.
- Mombeni, H. A., Rezaei, S., & Nadarajah, S. (2013). Estimation of Water Demand in Iran Based on SARIMA Models. *Environmental Modeling & Assessment* , 559-565.
- Mousavi-Mirkalaei, P., Banihabib, M. E. (2019). An ARIMA-NARX hybrid model for forecasting urban water consumption (case study: Tehran metropolis), *Urban Water Journal*, 1-12.
- Palma, W. (2016). *Time series Analysis*, Wiley, 616.
- Razali, S. N. A. M., Rusiman, M. S., Zawawi, N. I., & Arbin, N. (2018). Forecasting of Water Consumptions Expenditure Using Holt-Winter's and ARIMA, *Journal of Physics: Conference Series*, 995, 012041.
- Schwarz, G. (1978).Estimating the Dimension of a Model, *Annals of Statistics*, 6, 461-464.
- Shmueli, G., Lichtendahl Jr, K. C. (2016). *Practical Time Series Forecasting with R: A Hands-On Guide [2nd Edition]* (Practical Analytics),208.

Wang, X., Tian, W., & Liao, Z. (2021). Statistical comparison between SARIMA and ANN's performance for surface water quality time series prediction. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(25), 33531–33544.

Winters, P. R. (1960). Forecasting sales by exponentially weighted moving averages, *Management Science*, 6(3), 324–342.

İnternet Kaynakları

(İSKİ,2023) <https://data.ibb.gov.tr/dataset/istanbul-aylik-su-tuketimi-verileri/resource/57b1a381-a1eb-49ce-9521-b537002f0ced>. (Erişim Tarihi: 9 Şubat 2023)

(TÜİK,2023) <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Adrese-Dayali-Nufus-Kayit-Sistemi-Sonuclari-2011-10736> ile 2021-45500 yılları arası. (Erişim Tarihi: 9 Şubat 2023)

Not: Bu makale, İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı'nda, Prof. Dr. Oğuz Borat danışmanlığında, Ayşenur Ölçenoğlu tarafından yürütülecek olan, “Holt-Winters ve Box-Jenkins Modellerini Kullanarak Su Tüketimi Tahmini:İstanbul Örneği” başlıklı yüksek lisans tezinin ön çalışmalarından yararlanılarak hazırlanmıştır.

Araştırma Makalesi

BİYO FİLİK TASARIM YAKLAŞIMI OLARAK YEŞİL CEPHE UYGULAMALARI ÜZERİNE ARAŞTIRMA**Mehmet ESGİL[†], Ruşen YAMAÇLI^{††}**[†] Eskişehir Teknik Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, Eskişehir, Türkiye^{††} Eskişehir Teknik Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, Eskişehir, Türkiye[†] esgilmehmet@gmail.com, ^{††} ryamacli@eskisehir.edu.tr

0000-0002-6846-0404, 0000-0001-9659-9246

Atıf/Citation: ESGİL, M., YAMAÇLI, R., (2023). Biyofilik Tasarım Yaklaşımı Olarak Yeşil Cephe Uygulamaları Üzerine Araştırma, Journal of Technology and Applied Sciences 6(2) s.97-113, DOI: 10.56809/icujtas.1318721**ÖZET**

Son yıllarda şehirlerin nüfusunun hızla artması, yapı yoğunluğunun artmasına, yeşil alanların azalmasına neden olmaktadır. Bunun kent ve insan yaşamına pek çok olumsuz etkisi olmuştur. Bu durum ise; insanın doğaya bağlılığını ifade eden ve tasarımın buna göre şekillenmesi gerektiğini belirten biyofilik tasarım anlayışının önemini arttırmıştır. Yatayda yeşil alan oluşturmanın oldukça zor olduğu günümüz şehirlerinde, en etkili biyofilik tasarım yaklaşımlarından birisi dikey yeşil alan sağlayan yeşil cephe uygulamasıdır. Çalışmada biyofilik tasarım ve yeşil cepheler hakkında bilinç oluşturmak amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda; ilk olarak doğa-mimarlık ilişkisi irdelenmiş ve çeşitli doğa temelli tasarım yaklaşımları tanımlanmıştır. Biyofilik tasarımın bu yaklaşımlarla farklılık gösterdiği nokta ve ön plana çıkan özellikleri ifade edilmiştir. Ardından biyofilik tasarımın ortaya çıkışı, tanımı ve ilkeleri belirtildikten sonra bu kapsamdaki yeşil cephe uygulamasına odaklanılmıştır. Yeşil cephenin tanımı, sınıflandırması, avantaj ve çözüm önerileri ile birlikte dezavantajları belirtilmiştir. Daha sonra yeşil cephenin uygulama çeşitleri, uygulanmış örnekleriyle beraber verilmiş, örneklerdeki yeşil cephelerin çevreye, kullanıcıya ve ait olduğu yapıya katkıları irdelenmiştir. Bütün bu incelemeler sonucunda; kentlerde, yeşil dokunun artırılması; insanların fiziksel ve zihinsel sağlığının korunması; sürdürülebilir bir yapı tasarımı için yeşil cephe kullanımının artırılması önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Doğa, biyofilik tasarım, yeşil cephe, sürdürülebilir mimari**RESEARCH ON GREEN FACADE APPLICATIONS AS A BIOPHILIC DESIGN APPROACH****ABSTRACT**

In recent years, the population of cities has been increasing rapidly, which causes an increase in building density and a decrease in green areas. This has had many negative effects on the city and human life. This situation; it has increased the importance of the biophilic design approach, which expresses the commitment of people to nature and that the design should be shaped accordingly. In today's cities, where it is very difficult to create horizontal green spaces, one of the most effective biophilic design approaches is the green facade application that provides vertical green space. In this study, it is aimed to raise awareness about biophilic design and green facades. In accordance with this purpose; firstly, the relationship between nature and architecture was examined and various nature-based design approaches were defined. The point where biophilic design differs with these approaches and its prominent features are expressed. Then, after the emergence, definition and principles of biophilic design, the green facade application in this context is focused. The green facade; definition, classification, advantages and solution suggestions together with disadvantages are stated. Then, the application types of the green facade are given together with the applied examples, and the contributions of the green facades in the examples to the environment, the user and the structure it belongs to are examined. As a result of all these investigations; increasing the green fabric in cities; protection of people's physical and mental health; It has been suggested to increase the use of green facades for a sustainable building design.

Keywords: Nature, biophilic design, green facade, sustainable architecture

Geliş/Received : 22.06.2023

Gözden Geçirme/Revised : 01.08.2023

Kabul/Accepted : 10.08.2023

1. GİRİŞ

Gelişen ve büyüyen dünya pek çok avantaj ile birlikte dezavantajı da beraberinde getirmiştir. Nüfus artışı, sanayileşme ve bunun bir sonucu olarak şehirlerin hızla büyümesi, biyoçeşitliliğin ve doğa deneyiminin azalmasına neden olmuştur. Dünyanın bu hızlı gelişimi sonrasında ani değişimler çevresel bozulma ve iklim değişikliği ile sonuçlanmıştır. Son yıllarda sürdürülebilir uygulamalar, yeşil teknoloji ve kalkınma çalışmaları benimsenerek çevre ve iklim üzerindeki olumsuz etkinin azaltılması hedeflenmiştir (Addo-Bankas ve ark., 2021). Bu kapsamda önem kazanan yaklaşımlardan bir tanesi de biyofilik tasarımıdır. Biyofilik tasarım; insanın içgüdüsel olarak doğaya duyduğu özlemi tatmin ederek, fiziksel ve psikolojik yarar sağlamak için bazı tasarım önerileri sunma yaklaşımı temsil etmektedir. Ayrıca; sürdürülebilirliğe, doğa ile temas eksikliğinin giderilmesine ve doğal kaynakların etkin bir şekilde yönetilmesine katkıda bulunmayı amaçlamaktadır (Zhong ve ark., 2022). Buna yönelik uygulamalar içerisinde yeşil cepheler, arazi gereksinimi içermemesinin sağladığı avantaj ile kentlerde uygulanabilirlik açısından ön plana çıkmaktadır (Blanco ve ark., 2021). Yeşil cepheler; toprakta, bitki kutularında veya duvarın kendi yüzeyinde yetişen bitki elemanları ile cephenin kaplanması sonucu oluşmaktadır (Kobya, 2017). Günümüzde şehirlerin genel silüetlerini oluşturan bina cephelerinde “yeşil cephe” uygulaması, doğa-kent bütünleşmesinin fiziksel ve görsel açıdan sağlanması ile bununla birlikte çevreye ve insana katkısı bakımından en önemli biyofilik tasarım yaklaşımlarından birisidir.

Çalışmanın amacı, kentlerimizdeki etkisi gittikçe kaybolan doğanın, mimarlıktaki öneminin ve bu bağlamda geliştirilen biyofilik tasarım yaklaşımlarından yeşil cephe uygulamalarının bu sorunun çözümüne katkısının daha iyi anlaşılmasını sağlamaktır. Bu doğrultuda, doğa mimarlık ilişkisi irdelenip, çeşitli doğa temelli tasarım yaklaşımları tanımlanmış ve bu tasarım yaklaşımlarından biyofilik tasarıma odaklanılmıştır. Daha sonra yeşil cephe uygulamasının tanımı, avantaj ve dezavantajları belirtilmiş, uygulanmış örnekler üzerinden katkısı incelenmiştir.

2. MİMARLIK – DOĞA İLİŞKİSİ

Doğa ve mimarlık her zaman bir etkileşim içinde olmuştur. Doğal bir referans olarak insan vücudu, sütunların, klasik düzenlerin ve binaların harmonisinde yer almıştır. Filarete gibi birçok yazar, mimarlığın doğuşunu; insanın, doğanın olumsuzluklarına karşı korunması olarak yorumlamaktadır (Diaz ve Navarro, 2016). Doğanın olumsuzluklarıyla başa çıkmak için mimarlar doğa ile mücadele etmek yerine ondan ilham alarak doğayla uyumlu tasarım fikirleri geliştirmişlerdir.

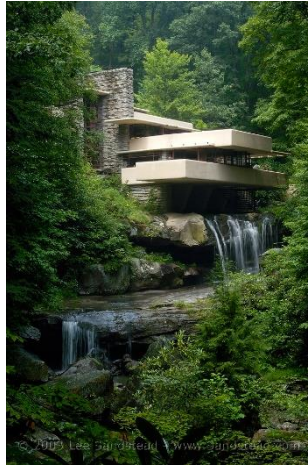
Doğa ve mimarlık arasındaki karşılıklı ilişkinin, seçilmiş birkaç örnekle ifadelendirildiği gibi, uzun bir tarihi vardır. Babil'in efsanevi Asma Bahçeleri'nin klasik antik çağda su kaynağına bitişik ve teraslı bahçelerde zengin çeşitlilikte ağaçlar, çalılar ve asmalarla dolu muhteşem bir yapı olduğuna inanılmaktadır (Şekil-1). Batı mimarlık teorisindeki en eski kitap olan Ten Books on Architecture kitabında Romalı mimar Vitruvius, konut binalarında iklime tepkiyi ve suya bağımlılığı açıklamaktadır. Jackson Downing, özel konutlarda, yapı ile doğayı birbirine bağlamak için ön sundurmaların kullanımını popüler hale getirmiştir. Dahası, mimarlar Gotik mimariden deneyim kazanarak ve Eugène Viollet-le-Duc'un dekoratif dökme demir işlerinde, Victor Horta'nın Hôtel Tassel'inde, Antoni Gaudí'nin Casa Batlló'sunda ve daha birçoklarında görülebilen doğal formların rasyonel yapılar olarak uygulanmasını önermişlerdir (Zhong ve ark., 2022). Geçmiş çağlardan 20.yy.'a kadar doğanın mimarlığa yansımaları kullanım imkânlarını arttırarak devam etmiştir.

Modern mimaride mimarlar, daha geniş bir yaklaşım yelpazesi aracılığıyla doğa ile yaşamayı keşfetmişlerdir. Örneğin, Leberecht Migge sosyal konutlarda yenilebilir bahçelerin kurulmasını önermiştir. Le Corbusier'in kavramsal projesi Immeubles Villas'a özel bahçeli daireler dâhil etmiştir. Ayrıca öne çıkan birçok modern mimari proje, doğa ile birlikte yaşamayı tasarımına yansıtmıştır. Frank Lloyd Wright'ın Fallingwater'ı, binayı, özellikle yatay olarak uzanan dirsekli terasları ortasına yerleştirildiği doğayı adeta kucaklamıştır (Şekil-2). Ludwig Mies van der Rohe'nin Farnsworth Evi'nde, cam duvarlar ve hafif yapısal destekler kullanarak dıştaki doğal çevre ile bir bağlantı kurmuştur (Şekil-3) (Zhong ve ark., 2022). Örneklerden de anlaşılacağı üzere doğa ile mimarlık arasında yüzyıllardır devam eden bir ilişki söz konusudur. Günümüzde doğa ile mimarlık arasındaki bu

etkileşimin tasarıma yansıma olanakları çoğalsa da, hızlı nüfus artışı ve beraberinde getirdiği kentleşme ile doğal alanların azalması, bu ilişkinin etkisinin de azalmasına neden olmuştur.



Şekil-1. Babil'in Asma Bahçeleri Temsili (Corbis, 2019).



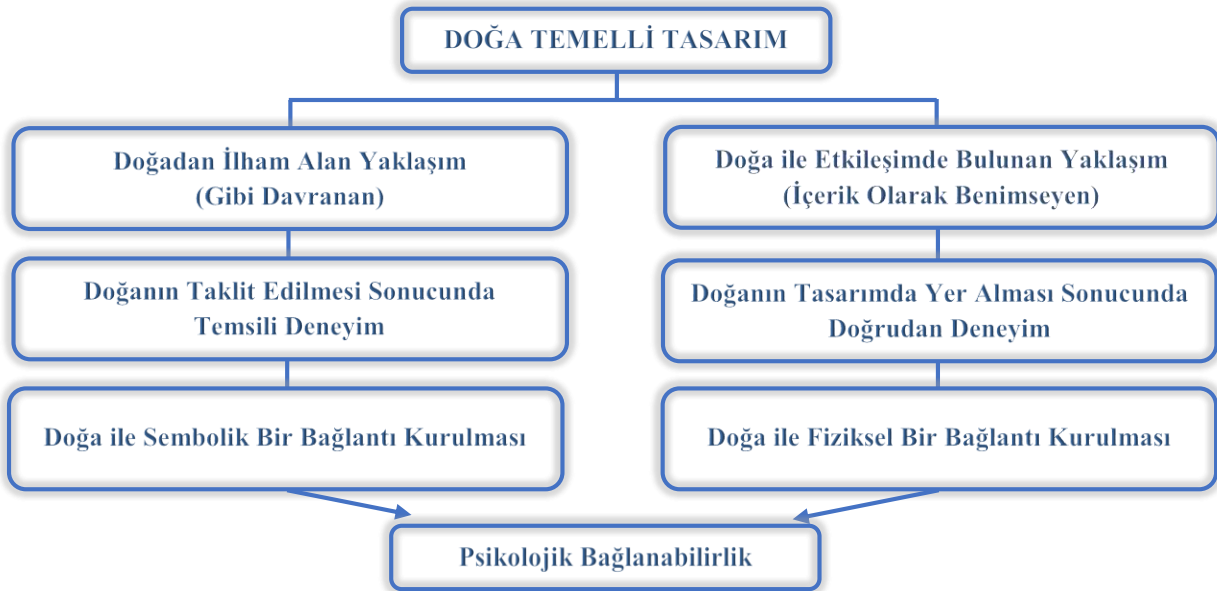
Şekil-2. Fallingwater (Sandstead, 2003).



Şekil-3. Farnsworth (Robbins, 2006).

3. DOĞA TEMELLİ TASARIM YAKLAŞIMLARI

Doğayı merkezine alan çeşitli tasarım yaklaşımları bulunmaktadır. Bu tasarım yaklaşımları doğanın tasarıma yansımalarına farklı çözümler getirirler de, temelde iki farklı görüş etrafında sınıflanmışlardır. Bunlardan ilki doğa ile etkileşimde bulunan yaklaşımlar, ikincisi doğadan ilham alan yaklaşımlardır (Şekil-4). Doğa temelli tasarım yaklaşımı, bu iki temel görüş etrafında şekillenen ve çevresel durumlara çözüm yolları arayan farklı tasarım yaklaşımlarını kapsayan bir bakış açısı ortaya koymaktadır. Günümüzde ön plana çıkan doğa temelli tasarım yaklaşımları; organik tasarım, yeşil tasarım, ekolojik tasarım, biyofilik tasarım, biyomimikri ve rejeneratif tasarımdır. Bu kavramlar ile ilgili tanımlamalar yapılarak, ayrıştığı noktalara değinilecektir.



Şekil-4. İki Farklı Doğa Temelli Tasarım Yaklaşımı (Bayraktaroğlu, 2014'ten uyarlanmıştır.)

- **Organik Mimarlık**; insanın mekânsal gereksinimlerinin karşılanması amacıyla doğaya uyumlu tasarımlardan yararlanılması gerektiği görüşünü savunan tasarım yaklaşımıdır. Bu akımın temel anlayışı; yapının çevresinin, kendisinin ve iç mekân özelliklerinin birlikte çalışan bir mekanizma olarak kurgulanmasıdır. Organik mimarlığın gelişmesindeki temel motivasyon, ekolojik kaygılardan çok; çeşitlilik, bireysellik, modernizmle gelen tek

düzelikten kurtulma arzudur (Şenozan, 2018). Kısacası; organik mimarlık; doğadan ilham alarak oluşturulan doğal biçimlerle iç ve dış mekânın bütünleştirilmesine odaklanan tasarım yaklaşımıdır.

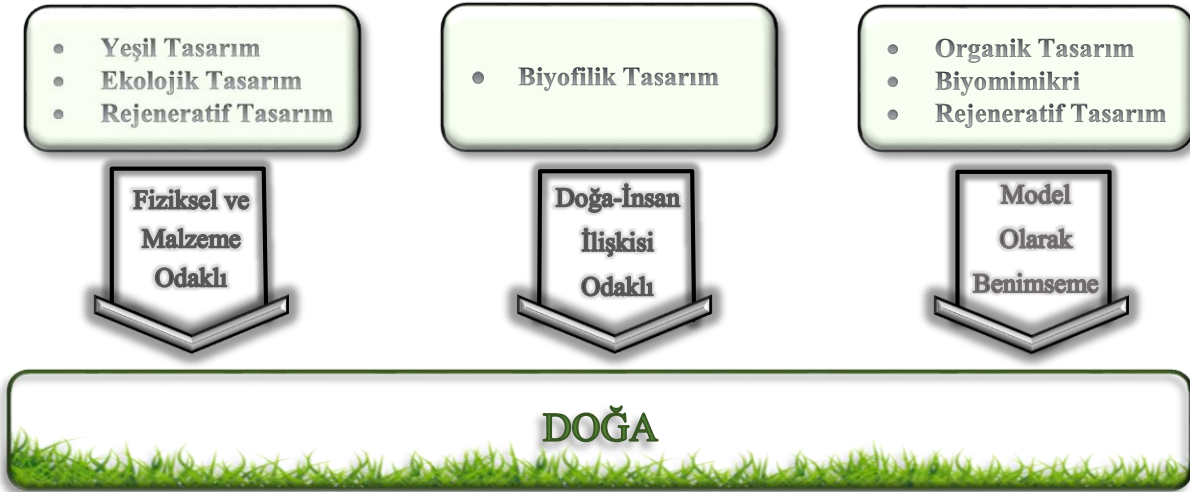
- **Yeşil Tasarım;** yapıların inşa sürecinde doğaya ve insan sağlığına verilen zararın minimuma indirilmesine yönelik tasarım yaklaşımıdır. Yeşil tasarım ile havanın, suyun ve arazinin; ekolojik yapı malzemeleri ve yapım teknikleri kullanılarak korunması amaçlanmaktadır (Bayraktaroğlu, 2014). Yeşil tasarım yaklaşımında, binanın doğa ile bütünleşmesinden ziyade, bulunduğu çevrenin ekosistemine sağlayacağı katkılar ve çevreye verdiği zararı en aza indirme, konusu ön plana çıkmaktadır.

- **Ekolojik Tasarım;** yeşil tasarım gibi çevresel bilinç ile gerçekleştirilen bina tasarımı için kapsayıcı bir terim olarak kullanılması mümkündür. Fakat ekolojik tasarım, bir bütün olarak ele alındığında yeşil tasarıma göre doğa temelli tasarım yaklaşımı ile daha özdeşleşmiş bir kavramdır. Bu iki yaklaşımın ayrıştığı nokta şu şekilde ifade edilebilir: yeşil tasarım ve tasarımın çerçevesini oluşturan değerlendirme metodları insanı ve doğayı bağımsız birer unsur olarak ele alıp, yapılan müdahalelerin doğa üzerindeki tahribatının daha küçük ölçekte kalması hedefini ön planda tutarken, ekolojik tasarım insan kavramını doğadan bağımsız bir unsur olarak görmemekte, doğa ile yapılı çevrenin birlikte, bütüncül olarak ele alınmasına imkân tanımaktadır (Bayraktaroğlu, 2014). Ekolojik tasarımda, yapının doğa ile bütünleşmesi ve doğanın bir parçasıymış gibi davranma anlayışı söz konusudur. Bu bağlamda ekolojik tasarım, yeşil tasarıma göre doğa temelli tasarımı daha bütüncül olarak yansıtmaktadır.

- **Biyofilik Tasarım;** yeşil tasarım ve ekolojik tasarım, insanın doğa ile olan ilişkisine fiziksel ve malzeme odaklı yaklaşırken, biyofilik tasarım ise doğa ile olan etkileşim gereksiniminin duygusal tarafına da dikkat çekmektedir. Güneş ışığının bulunduğu, hayvanlarla etkileşimde bulunulan, ağaç, çiçek, akan sular, kuşlar ve doğal süreçler barındıran mekânlarda insanın kendisini daha iyi hissettiği gerçeği esas alınarak biyofilik tasarım anlayışı şekillendirilmektedir (Bayraktaroğlu, 2014). Biyofilik tasarım anlayışı, insanın içgüdüsel olarak doğaya olan bağlılığına karşı tasarımın şekillendirilmesini esas alır. Böylece binanın çevreye olumlu etkisinin yanında, kullanıcının kendini huzurlu ve güvende hissetmesini sağlamak amaçlanmaktadır.

- **Biyomimikri;** diğer doğa temelli tasarım yaklaşımlarındaki gibi fiziksel veya duygusal bir tatminden ziyade, doğadan ilham alma söz konusudur. Biyomimikriyi; doğal süreçlerin analiz edilmesi ve bu süreçlerden ilham alınarak tasarımın yapılması şeklinde tanımlamak mümkündür (Bayraktaroğlu, 2014). Doğada yaşamaya adapte olmuş herhangi bir nesne veya canlıdan ilham alarak tasarımı o yönde şekillendirmek, yapıları doğanın olumsuz etkilerine karşı koruma, doğa ile daha uyumlu hale getirme imkânı sunmaktadır.

- **Rejeneratif Tasarım;** temelinde daha sağlıklı çevre koşulları oluşturmak için insanların yaşam alanlarının; ekosistemlerin kendi kendini yenileyen ve iyileştiren yönlerinin temel alınarak tasarlanması gerektiği anlayışıdır. Bu tasarım anlayışına göre; mevcut yapılı çevredeki sürdürülebilir olmayan enerji ve malzeme kullanımının gelecekte çeşitli çevresel sorunlara yol açacağı düşünülmektedir. Dolayısıyla, enerji ve malzeme konusunda, sürekli olarak kendi kendini yenileyen sürdürülebilir ve doğal çözümler tercih edilmelidir. Enerji kullanımında öncelikli olarak, güneş enerjisi; malzeme kullanımında ise geri dönüştürülebilir, yeniden kullanılabilir ve doğal malzemelerin kullanımı ön plana çıkmaktadır (Lyle, 1994). Rejeneratif tasarım anlayışı, doğadaki işleyişten ilham alarak tasarımın yapılması bakımından biyomimikri ile daha sürdürülebilir çözümler için doğal malzemelerden de yararlanması bakımından biyofilik tasarım anlayışı ile örtüşmektedir.



Şekil-5. Tasarım Yaklaşımlarının Doğa ile İlişkisi

Biyofilik tasarım; diğer yaklaşımlardan farklı olarak insan-doğa ilişkisinin duygusal yönüne odaklanmaktadır. Bu bağlamda biyofilik tasarım, doğa temelli tasarım yaklaşımındaki 2 temel görüşü de kapsayacak şekilde, bu görüşlerin odak noktası olan ‘psikolojik bağlanabilirlik’ kavramı (Şekil-4) ile ilgilenmekte ve diğer tasarım yaklaşımları arasından insan-doğa ilişkisi merkezli düşünüldüğünde daha kapsayıcı bir yaklaşım olarak ön plana çıkmaktadır (Şekil-5). Bu durum ise tüm bu doğa temelli yaklaşımlar içinde, insan doğası ve duygusunu ön planda tutması açısından uzun vadede katkı sağlayacak anlayışın ‘biyofilik tasarım’ olduğunu göstermektedir.

4. BİYOFİLİK TASARIM

‘Biophilia(Biyofilik)’ kelimesi, ‘yaşam sevgisi’ anlamına gelmektedir. İlk olarak 1960’larda, sosyal psikolog olan Erich Fromm tarafından ‘The Heart of Man’ adlı kitabında kullanılmıştır (İrfanoğlu ve Suri, 2022). Dünya Sağlık Örgütü’nün, ‘Hasta Bina Sendromu’nu tanımladığı sıralarda Amerikalı biyolog ve Harvard Üniversitesi profesörü Edward O. Wilson’un ‘Biyofili’ üzerine geliştirdiği teoriler ile kavram popülerlik kazanmıştır (Modi ve Parmar, 2020). Hasta Bina Sendromu; kişinin genellikle çalışma alanı olan ofislerle, bazen de kaldığı konutlarla ilişkili baş ağrısı, öksürük, baş dönmesi, konsantrasyon kaybı, yorgunluk vs. gibi şikayetlerinin toplamını ifade etmektedir (Wikipedia, 2021). Biyofili ise; insan ve doğa arasındaki ilişkiyi tanımlayan bir terimdir. Edward; insanın, diğer canlı organizmalara ve özellikle doğal dünyaya doğuştan gelen bir bağlılığının olduğunu düşünmektedir (Modi ve Parmar, 2020). Bu bağlamda yapılı çevreyi, doğa ile bütünleştirmek ve doğanın etkilerinin insan yaşamında hissedilmesinin psikolojik ve çevresel açıdan olumlu etkileri olabileceği öngörülmektedir.

21.yy.’da biyofili kavramı geliştirilerek, mimari alana uyarlanmıştır. Biyofili kavramı bir teori olarak ortaya çıksa da, Kellert ve Beatley tarafından savunulan ‘biyofilik tasarım’ kavramı uluslararası olarak, insanları doğal çevreyle yeniden bağlamayı içeren sürdürülebilir tasarım stratejisi sunan bir süreci içermektedir (Şekil-6) (Downton ve ark., 2017). Genel olarak biyofilik tasarım, yapının doğa ile bütünleşmesini ifade etmektedir (Wasista ve Kerdiati, 2021). Bu bağlamda doğayla bağlantılı olan bazı binaların neden diğerlerinden daha iyi performans gösterdiğinin düşünüldüğünü açıklamaktadır. Bu tasarım anlayışında doğaya bağlılık; yaşama, çalışma, öğrenme, eğlence ve tıbbi ortamlarda her türlü faydayı sunmaktadır. Bu nedenle biyofilik mimarinin sürdürülebilirliğe, doğa ile temas eksikliğinin giderilmesine ve doğal kaynakların etkin bir şekilde yönetilmesine katkıda bulunduğu iddia edilmektedir (Zhong ve ark., 2022). Biyofilik tasarımın başarılı bir şekilde uygulanması, belirli temel ilkelere tutarlı bir şekilde bağlı kalmayı gerektirmektedir. Bu ilkeler, biyofilik tasarımın etkili bir şekilde uygulanması için temel koşulları temsil etmektedir. Biyofilik tasarım;

İlke-1. Doğa ile; tekrarlanan ve süreklilik gerektiren bir etkileşimi ifade etmektedir.

İlke-2. İnsanların sağlığına, zindeliğine ve esenliğine katkı sağlamak amacıyla; insanın zaman içinde gelişim gösteren, doğal dünyaya adaptasyonuna odaklanmaktadır.

İlke-3. Belirli ortamlara ve yerlere karşı hissedilen duygusal bağlılığı teşvik etmektedir.

İlke-4. İnsan ve doğal topluluklar için genişletilmiş bir ilişki ve sorumluluk duygusunu harekete geçiren, insan-doğa arasındaki olumlu etkileşimleri teşvik etmektedir.

İlke-5. Birbirini destekleyen ve birbirine bağlı, doğa ile bütünleşik mimari çözümleri teşvik etmektedir. (Kellert ve Calabrese, 2015).

Biyofilik tasarım anlayışından ve başarılı bir şekilde uygulanması için belirlenen 5 ilkeden yola çıkarak, bu tasarım anlayışını ortaya koymak için en kapsayıcı uygulamalardan birisinin yeşil cepheler olduğu öngörülmektedir. Browning ve arkadaşlarına göre yeşil cepheler, insanın doğaya sevgisini göstermesinin en kolay yoludur. Böylece yeşil cepheler, yapılarda doğal atmosferi uyandırmak için en etkili strateji olarak düşünülmektedir. Yeşil cepheler ayrıca, yapıların yüzeylerinin oluşturduğu sınırlı alanlarda yeşil boşluklar oluşturması ile çevresel öneme de sahiptir (Browning ve ark., 2014; Wasista ve Kerdiati, 2021). Bu nedenle, çalışma, biyofilik tasarım yaklaşımlardan biri olan yeşil cephe uygulamalarına odaklanmaktadır. Çalışmanın devamında, yeşil cephe ile ilgili gerekli tanımlamalar ve uygulanmış örnekler üzerinden inceleme yapılacaktır.



Şekil-6. Biyofilik Tasarım Yaklaşımını Temsil Eden Diyagram (Cow, 2020'den uyarlanmıştır.)

5. BİYOFİLİK TASARIM YAKLAŞIMI OLARAK; YEŞİL CEPHELER

5.1. Yeşil Cephenin Tanımı

Yeşil cephe, bina yüzeyinin üzerinde veya bitişiğinde yetişen bitki örtüsünü ifade etmektedir. Bitki örtüsünün cephedeki konumlandırılmasına göre, “doğrudan” veya “dolaylı” yeşil cephe olarak 2 sınıfa ayrılmaktadır (Şekil-7) (Bustami ve ark., 2018.). Doğrudan yeşil cepheler, herhangi bir destekleyici eleman olmadan, kendi kendine tutunarak büyüyen tırmanıcı bitkilerin doğrudan yüzeyi kaplaması ile oluşmaktadır (Şekil-8) (Addo-Bankas ve ark., 2021). Dolaylı yeşil cepheler ise yüzeyden kısa bir mesafe uzağa yerleştirilen destek elemanlarına tırmanan veya bu elemanlara asılan saksılarda yetişen bitkilerin yüzeyi kaplaması sonucu oluşmaktadır (Şekil-9). Dolaylı yeşil cepheler duvar ile bitki tabakası arasında hava boşluğunun oluşmasına imkân sağlamaktadır. Doğrudan yeşil cephelerden farklı olarak oluşturulan bu hava boşluğu ile tırmanıcı bitkilerin, duvar yüzeyinde zamanla oluşturacağı hasarlar önlenmektedir (Blanco ve ark., 2021). Daha çok geleneksel mimaride kullanılan doğrudan yeşil cephelerin; yapı yüzeyine vereceği hasar, bakımının zorluğu, hijyen problemi gibi sorunlarından ötürü modern yapılarda genellikle dolaylı yeşil cepheler tercih edilmektedir.

Yeşil cephelerde bitkilerin duvarı tamamen kaplaması 10 yıldan fazla sürse de cephenin ömrü 50 yıldan uzundur. Yüzeyde kullanılan tırmanıcı bitkiler, ilk 4 senede 3m'den 10m'ye kadar uzayabilmektedir (Bustami ve ark., 2018; Addo-Bankas ve ark., 2021). Cephede bitki örtüsünün varlığı, yazın duvar yüzeyindeki ısı dalgalarını önleyerek gölgeleme sağlama ile klima için harcanacak enerji tüketimini azaltması; kışın ise ısı yalıtımını

arttırarak, ısıtma için harcanacak enerji tüketimini azaltması sayesinde enerji verimliliğine katkı sağlamaktadır (Blanco ve ark., 2021). Ayrıca yeşil altyapının doğrudan veya dolaylı faydaları arasında gürültüyü azaltma, iyileştirilmiş hava kalitesi, artan kentsel biyolojik çeşitlilik, binanın estetik değerini artırma gibi etkilerini de saymak mümkündür (Bustami ve ark., 2018). Yeşil cephelerin olumlu etkilerinin yanında, bakım, maliyet vb. dezavantajları da mevcuttur. Bu nedenle, yeşil cephelerin sağladığı avantaj ve dezavantajları göz önünde bulundurularak, yeşil cephe uygulamalarının yapının bulunduğu bölgeye, iklime ve şartlara uygun bir şekilde yapılması önem arz etmektedir.



Şekil-7. Doğrudan-dolaylı yeşil cephe şematik gösterimi (Bustami ve ark., 2018)

Şekil-8. Doğrudan yeşil cephe örneği; Xi'an Teknoloji Üniversitesi Kampüsü (Addo-Bankas ve ark., 2021)

Şekil-9. Dolaylı yeşil cephe örneği (Coma ve ark., 2017)

5.2. Yeşil Cephelerin Avantajları

Yeşil cephelerin, yukarıda kısaca bahsedildiği üzere, insan ve çevre üzerinde pek çok olumlu etkileri vardır, bu etkiler genel olarak 6 başlık altında toplanmış ve çevresel, fiziksel, psikolojik faydalarına göre Tablo-1 hazırlanmıştır. Bu başlıklar;

- **Hava Kirliliğini Önleme/Hava Kalitesini Arttırma:** Dünya Sağlık Örgütü'ne göre, hava kirliliği kentsel alanlarda en tehlikeli kirlilik türü olarak kabul edilmektedir. Bununla ilgili incelemede bulunan çeşitli araştırmalar, yeşil cephelerin dış mekân hava kalitesini iyileştirebileceğini ve hava kirliliğini, yani ciddi sağlık tehditlerine neden olan ana hava kirleticisi olan partikül maddeyi azaltabileceğini göstermektedir (Fonseca ve ark., 2023). Yeşil cepheler, karbon salınımı ve yoğun trafiğin neden olduğu kirli havayı, bitkiler sayesinde tutarak havayı temizlemektedir. Bitkiler fotosentez sonucu karbondioksit gazı ve suyu parçalayarak oksijen ve glikoza dönüştürmektedirler. Böylece karbondioksit gazı oksijene dönüşerek atmosferdeki oksijen miktarını arttırmaktadır, yani havayı temizlemektedirler. Ayrıca VOC (Volatil Organik Bileşenler) gibi havadaki zararlı toksinleri de absorbe ederek havayı filtrelediği de gözlemlenmiştir (Koby, 2017). Yeşil cephelerin hava kalitesini arttırmasına yönelik olumlu etkileri çevresel fayda ile beraber kullanıcı sağlığı açısından özellikle solunuma bağlı hastalıkların azalmasını da sağlayarak yarar sağlamaktadır.

- **Termal Konfor/Enerji Verimliliği:** Yüksek dış ortam sıcaklıkları, insan konfor ve sağlığında önemli bir yere sahip olan iç ortam sıcaklıklarının da yükselmesine sebep olmaktadır. Yeşil cepheler, binaların termal dengesini ve konforunu iyileştirerek soğutmaya harcanan enerji maliyetlerini azaltabilmektedir. Genellikle çıplak duvarlarda, yeşil cepheye sahip duvarlara oranla hava sıcaklıklarının daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir (Fonseca ve ark., 2023). Yeşil cephe, binanın dış yüzeyini örterek yaz aylarında ısı kazancını azaltmaktadır. Bu da yaz aylarında iç ortamın daha serin olmasını sağlamaktadır.

- **Gürültüyü Azaltma:** Dünya Sağlık Örgütü'ne göre gürültü, özellikle insanların dinlenmelerine engel olması nedeniyle sağlık sorunlarının en önemli ikinci nedeni olarak gösterilmektedir (Fonseca ve ark., 2023). Trafik ve diğer sebeplerin neden olduğu gürültüler, kentte bulunan bina cephesi, yol, kaldırım gibi sert yüzeylerden yansımaktadır. Bitkilerin ses yalıtım özelliği çok fazla olmasada gürültüye karşı cephede bir ses bariyeri görevi görmekte ve sert yüzeylere oranla ses emici olarak kullanılmaktadır (Koby, 2017). Cephede kullanılan bitki

materyalleri ve toprak tabakasının ses yutucu özelliği sayesinde, yeşil cepheler, çıplak bir cepheye göre gürültüyü engelleme konusunda çok daha iyi performans göstermektedir.

- **Sosyal Algılar:** İnsanlar genellikle yeşil altyapı unsurlarına karşı olumlu tutumlara sahiptir. Bu, yeşil cepheler gibi küçük ölçekteki yeşil altyapılar içinde geçerlidir. Dolayısıyla, tasarımda yeşil cephelere yer verilmesinin insan psikolojisine olumlu etkileri mevcuttur (Fonseca ve ark., 2023). Yeşil cepheler, doğa ile fiziksel ve ruhsal bir bağ kurarak kent yaşamının fizyolojik ve psikolojik baskılarını hafifletmeye yardımcı olmaktadır (Koby, 2017). Bu bağlamda yeşil cephelerin, biyofilik tasarım anlayışının da bir gerekliliği olarak, insan üzerinde sadece fiziksel değil, duygusal etkisinden de bahsetmek mümkündür.

- **Görsel ve Estetik Değeri Arttırma:** Bitkilendirme; yapıların genel görünümünü güçlendirmek ve kentin görsel, sosyal koşullarını iyileştirmek için maliyet ve uygulama açısından en ideal tercihtir. Bu bağlamda büyük kentlerin genel görünümünü oluşturan yapı yüzeylerinde yeşil cephe uygulaması, bitkilendirme açısından önemlidir. Cephelerde bitki dokularının kullanılması, bunun belli örüntülerle uygulanması ve doğayla iç içe tasarım, estetik görünüme katkı sağlamaktadır. Kentlerde doğanın varlığını hissettiren yeşil alanların etkisinin artması ile halkın yaşam kalitesi de artmaktadır (Koby, 2017). Sonuç olarak, yeşil cephe uygulaması kentlerin estetik ve görsel değerini arttırmasının yanında sosyal, psikolojik ve ekonomik yönden olumlu bir etki sağlamaktadır.

- **Sağlık/Esenlik:** Genel olarak literatür, yeşil alanların fizyolojik ve psikolojik, sağlık/esenlik faydaları ile ilişkili olduğuna dair kanıtlar sunmaktadır (Fonseca ve ark., 2023). Örneğin hastaların, yeşil alanları ziyaret etmesinin; herhangi bir ilaca ihtiyaç duymadan iyileşme sağlanması ve diğer hastalardan daha hızlı bir iyileşme süreci geçirmesi, gibi etkileri olduğu gözlemlenmiştir (Koby, 2017). Ayrıca sağlık tesislerinde yeşil cephenin olumsuz duyguları ortadan kaldırmaya ve iyileşmeyi desteklemeye yardımcı olduğunu kanıtlayan çalışmalar mevcuttur (Fonseca ve ark., 2023). Yeşil cepheler, doğal manzaranın zihinde oluşturduğu pozitif etki ile hem psikolojik hem de fiziksel sağlık açısından olumlu etkileri olduğunu göstermiştir.

Tablo-1. Yeşil Cephenin Avantajlarının Faydasal Sınıflandırması

ÇEVRESEL FAYDA	FİZİKSEL FAYDA	PSİKOLOJİK FAYDA
Hava Kirliliğini Önleme/Hava Kalitesini Arttırma		Görsel ve Estetik Değeri Arttırma
Termal Konfor/Enerji Verimliliği		Sosyal Algılar
Görsel ve Estetik Değeri Arttırma	Gürültüyü Azaltma	
Sosyal Algılar	Sağlık/Esenlik	

5.3. Yeşil Cephenin Dezavantajları

Yeşil cephelerin, belirtilen tüm avantajlarına rağmen, bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Dezavantajlar genellikle; tasarım, uygulama, bakım ve işletim süreci, maliyet, su tüketimi ve hijyen gibi konularda yaşanan problemler sonucu ortaya çıkmaktadır. Bu dezavantajları maddeler halinde belirtecek olursak:

- Bitki türünün yanlış belirlenmesi ve bitki yoğunluğunun yanlış uygulanması
- Yeşil cephe sistemlerinin maliyeti (kurulum, işletim, bakım maliyeti vs.)
- Uygulama aşamasından sonra süreklilik gerektiren bakım ve işletim süreci

- Yeşil cephelerin sürekli olarak suya ihtiyaç duyması
- Biyoçeşitliliği arttırması ile beraber böcek, sürüngen vb. hayvanları bünyesinde barındırarak, olumsuz hijyen koşulları oluşturması
- Bazı durumlarda cepheyi kaplayarak doğal manzaranın görünümünü engellemesi (Kobyas, 2017).

Tasarım, bitki türünün seçimi ve bakımı; yeşil cephenin estetik değeri açısından önemli parametrelerdir. Ölüm oranı yüksek olan bitkilerin seçimi estetik değerin zayıflamasına ve bitkilerin yenilenmesi ile beraber ek maliyetlere sebep olmaktadır. Bitki ölüm oranları, cephe sisteminin tasarımı ve yapının bulunduğu yere göre de büyük farklılıklar gösterebilmektedir. Tasarımı ve bakımı iyi yapılmamış bir yeşil cephenin, ideal bir yeşil cepheye göre yıllık bitki yenileme oranı çok daha yüksektir (Pérez-Urrestarazu ve ark., 2015). Cepheye düşük ölüm oranına sahip bitkiler kullanılarak doğru bir şekilde tasarlanmış ve düzenli olarak bakımı yapılan yeşil cephe, estetik değerin arttırılmasına önemli ölçüde katkı sağlamaktadır.

Kuraklık nedeniyle önemi her geçen gün artan suyun tüketimi, yeşil cephelerde dikkat edilmesi gereken bir diğer önemli etmendir. Yeşil cephelerin varlığını sürdürebilmesi için daimi olarak suya ihtiyacı vardır. Bitkinin terleme ve substrat buharlaştırma işlemlerinde kullanmak üzere ihtiyaç duyduğu su miktarı; havanın nemi ve sıcaklığı, gelen güneş enerjisinin miktarı, havanın akış hızı, bitki türü ve substrat özellikleri ile bağlantılıdır. Bu nedenle, uygun bitki türünün seçimi, kuraklığa eğilimli bölgelerde yeşil cephenin su gereksiniminin azaltılması bakımından önemlidir. Ayrıca, sulama suyunun sirküle edilmesi veya geri kazanılmış gri su ve yağmur suyuyla karıştırılması, ihtiyaç duyulan su ihtiyacını önemli ölçüde azaltabilmektedir. Ancak, yağış tutma ve/veya sulama suyunun geri dönüşümünü sağlamak için su depolama tanklarının kullanılması, yeşil cephenin kurulum sürecini ve malzeme maliyetini arttırmaktadır (Pérez-Urrestarazu ve ark., 2015). Sonuç olarak, yeşil cephelerde az su tüketen bitkilerin tercih edilmesi ve cephenin geri kazanılmış sularla sulanması, su tüketiminin oluşturacağı dezavantajın etkisini minimuma indirmektedir.

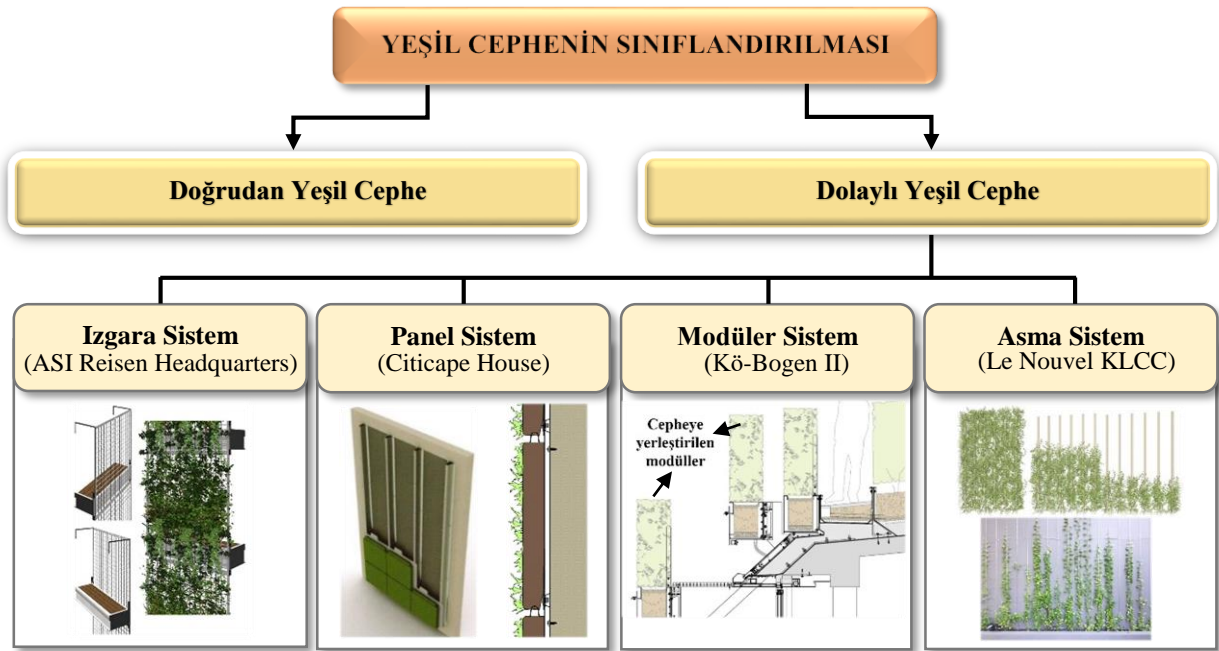
Bina cephesini kaplayan bitki örtüsü, binayı şiddetli yağışlardan koruyabileceği gibi, geçmişte hasar görmüş, nem sorunu yaşayan binaların cephelerinde buharlaşmayı engelleyerek, nemin yüzeydeki çatlaklara dolmasına sebep olmaktadır. Bu da binadaki hasarın boyutunu arttırmaktadır. Ayrıca cepheye bitkiler sürekli büyüdüğünden dolayı kök, dal ve diğer uzantılarının yüzeydeki hasarı arttırmaması için düzenli olarak temizlenmesi gerekmektedir (Katana, 2022). Yüzeyi hasarlı binalarda, doğrudan yeşil cephe yerine dolaylı yeşil cephelerin tercih edilmesi ve bakımının düzenli olarak yapılması, hasarın artmasını önleyici çözüm olarak ön plana çıkmaktadır.

Son olarak; yeşil cephe uygulamalarında işletme ve bakım süreçlerinin belli bir maliyet gerektirmesi de önemli bir dezavantaj oluşturmaktadır. Maliyetlerin durumu birçok etkene göre değişiklik gösterebilmektedir. Bunlar; sistemin karmaşıklık derecesi, bitkinin özellikleri, cepheye bitki yoğunluğu vb. değişkenlere bağlıdır. Bakım maliyetlerini; sulama sistemi maliyetleri, bitkilerin değişimi, mevsimlere göre dökülen yaprakların toplanması, ortadan kaldırılması ve bu işlemlerin binanın ömrü boyunca devam etmesi sonucu ortaya çıkan maliyetler olarak tanımlamak mümkündür (Katana, 2022). Belirtilen bu maliyetlere rağmen, yeşil cephenin sağladığı avantajlar nedeniyle ekonomik uygulanabilirliğinin arttırılması için birçok araştırma yapılmıştır. Perini ve Rosasco (2013), ekonomik teşvikler (vergi indirimi vs.) ile ilk yatırım maliyetlerinin azaltılabileceğini ve dolayısıyla yapılarda yeşil cephe uygulamalarının yaygınlaşmasını sağlanabileceğini ifade etmektedir (Perini ve Rosasco, 2013). Pazarlama açısından şirketler; daha ucuz, çevre dostu malzemeler kullanarak, kurulum sürecini kolaylaştırarak ve sistem performansını iyileştirerek (bitki ölüm oranının azaltılması vs.) bakım gereksinimini azaltmaktadır (Pérez-Urrestarazu ve ark., 2015). Yeşil cephenin sağladığı avantajlar göz önünde bulundurulduğunda dezavantajlar büyük bir sorun teşkil etmemektedir. Çünkü bahsedilen dezavantajları doğru tasarım, doğru uygulama ve doğru kullanım-işletim ile ortadan kaldırmak veya olumsuz etkisini azaltmak mümkündür.

5.4. Yeşil Cephe Çeşitlerinin Örnekler Üzerinden İncelenmesi

Doğrudan yeşil cephe geleneksel bir yöntem olup, modern yapılarda genellikle dolaylı yeşil cephe tercih edilmektedir. Dolaylı yeşil cephe kaplaması ise 4 farklı sistemle uygulanmaktadır. Bu sistemler “Modüler, Asma, Panel, Izgara” sistemleridir (Şekil-10). Perini ve Rosasco (2013) ’nun yaptığı araştırmalara göre; cephenin tabanına basit bir şekilde yerleştirilen tırmanıcı bitkilerin cephe yüzeyine tutunduğu doğrudan yeşil cephe

sisteminin yaklaşık maliyeti 30-45 €/m²'dir. Dolaylı yeşil cephelerde ise; tırmanıcı bitkilerin cephedeki destek elemanlarına tutturulduğu ızgara ve asma sistemde, yetiştirilen tırmanıcı bitkiler ile destek elemanlarının toplam maliyeti 40-75 €/m²'dir. Kullanılan malzemelerin ve uygulama biçimlerinin farklılık gösterdiği modüler sistem ve panel sistemlerde maliyetler de farklılık göstermektedir. Örneğin; ekici kutuların kullanıldığı basit bir modüler sistemde plastik malzemelerden yararlanıldığında maliyet 100-150 €/m² iken çinko kaplı çelikten yapılmış bir sistemde 800 €/m²'leri bulmaktadır. Önceden bitkilendirilmiş panel sistemlerinde de maliyet; sistem tasarımına ve kullanılan malzemeye bağlı olarak 400-1200 €/m² arasında değişmektedir. Sistemlerin yaklaşık birim maliyetlerinden de anlaşılacağı üzere modüler ve panel sistemler; ızgara ve asma sistemlere göre daha pahalıdır. Bunun nedeni; gereken bakım (besleme ve sulama sistemi), kullanılan malzemeler ve tasarımının karmaşıklığıdır (Perini ve Rosasco, 2013). Fakat panel ve modüler sistemler, pahalı olmasının yanında ızgara ve asma sistemlere göre farklı uygulama çeşitleri ile daha geniş perspektifte tasarım imkanı sunmaktadır. Bu bölümde mevcut sistemler uygulanmış örnekler üzerinden incelenecektir.



Şekil-10. Yeşil cephe uygulamalarının sınıflandırılması

5.4.1. Izgara Sistemi: ASI Reisen Headquarters (2019)

Grid sistem olarak adlandırılan bu sistem çelik teller kullanılarak oluşturulmaktadır. Sistemde yer alan metal yapı malzemeleri; hızlı büyüyen, sık dokulu ve tırmanıcı bitki gruplarını desteklemek amacıyla kullanılmaktadır. Bu metal malzemeler; çeşitli form ve büyüklüklerde; esnek, dikey ve yatay şekilde konumlandırılmış; çapraz kısıkaçlarla birbirlerine bağlanmışlardır (DecDor, b.t.). Izgara sisteme örnek olarak ASI Reisen Headquarters ofis binası incelenecektir.

Snøhetta mimarlık firması tarafından tasarlanan, Natters, Avusturya'da bulunan ASI Reisen Headquarters; tellere tutunarak etrafını çevreleyen yeşil cepheye ve binanın yüzeyini kaplayan siyah ahşap bir çerçeveye sahip, açık planlı bir ofis binasıdır. Yerel biyoçeşitliliğe katkıda bulunması amaçlanan yeşil bir cephe ile çevrili olması ve neredeyse tamamen ahşaptan yapılması, yapının sürdürülebilirliğinin göstergesidir (Şekil-11) (Crook, 2020). Yapıyı çevreleyen yeşil cephe, sıcak hava ve büyük saksılarda yetişen, yaprak dökmeyen 17 farklı bitkilerden oluşmaktadır. Yeşil cephe parlamaya karşı bir kalkan görevi görmekte ve cepheyi oluşturan cam yüzeyleri gölgelemektedir. Ayrıca, batı cephesinde çalışanlar, binanın yüzeyinden belli bir uzaklığa yerleştirilen yeşil cephe ile binanın arasını balkon olarak kullanabilmektedir (Şekil-12). 118 adet tırmanıcı bitki, yıl boyunca cephenin görünümünü değiştirerek mevsimsel ısı yalıtımına katkı sağlamaktadır. Bina ile yeşil cephe arasındaki tampon bölgenin oluşturduğu mikro iklim, binanın soğutulması için gereken enerji ihtiyacını azaltmaktadır (Snøhetta, b.t.). Binadaki yeşil cephe uygulaması enerji verimliliği ve biyoçeşitliliğe sağladığı katkı ile ön plana çıkmaktadır.



Şekil-11. ASI Reisen Headquarters cephesinin genel görünümü (Flatscher b.t.)



Şekil-12. Cephe ile bina arasında oluşturulan tampon bölge (Flatscher, b.t.)

5.4.2. Panel Sistem: Citicape House (Proje Aşamasında)

Bu sistemde bitkiler, doğrudan cephenin yüzeyine veya alt yapıya yerleştirilen panellerin üzerinde konumlanmaktadır. Yüksek ısı oluşumunu engelleyen, her türlü koşula uygun, esnek bir sistemdir (DecDor, b.t.). Panel sisteme örnek olarak Citicape House karma kullanımlı bina incelenecektir.

Sheppard Robson mimarlık firması tarafından tasarlanan 11 katlı Citicape House; 2024 yılında tamamlanması planlanan, beş yıldızlı otel, ofisler, toplantı ve etkinlik alanları, bar, spa ve restoranı barındıran karma kullanımlı bir binadır (Şekil-13). Binayı ilginç ve sürdürülebilir kılan en önemli özelliği panel sisteme sahip yeşil cephesidir (Şekil-14). 400.000 bitkiden oluşması planlanan bu cephe ile yılda 8 tondan fazla karbonun tutulması ve 6 ton oksijen üretilmesi amaçlanmaktadır. Ayrıca Londra'nın işlek bir bölgesinde bulunan yapı, yeşil cephesi sayesinde 500 kg partikül maddeyi hapsederek hava kalitesinin iyileştirilmesine önemli ölçüde katkı sağlayabilecektir (Crook, 2019; Robson, b.t.). Yeşil cephenin su ihtiyacının bir kısmını karşılayarak maliyeti düşürmek amacıyla yağmur suyu toplanacaktır (Crook, 2019). Tasarımdaki yeşil cephe uygulaması; sağlaması beklenen yüksek çevresel katkısı ile ön plana çıkmaktadır.



Şekil-13. Citicape House cephesinin genel görünümü (Robson, b.t.)

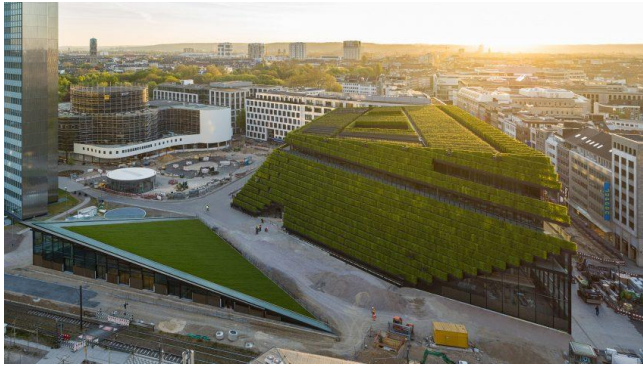


Şekil-14. Cephenin detay görünümü (Robson, b.t.)

5.4.3. Modüler Sistem: Kö-Bogen II (2020)

Sistem, yapı cephesine, benzer form ve büyüklüklere sahip modüllerin yerleştirilmesiyle oluşturulmaktadır. Bu modüller, üst üste ve yan yana dizilerek cephe kaplaması yapılmaktadır. Sistemin modüler olması, gübreleme ve kök budama işlemlerinin daha kolay yapılmasını sağlamaktadır (DecDor, b.t.). Modüler sisteme örnek olarak Kö-Bogen II ofis binası incelenecektir.

Ingenhoven Architects tarafından tasarlanan, Düsseldorf Almanya’da bulunan Kö-Bogen II, 5 katlı bir ofis binasıdır. Kö-Bogen II, cephesine yerleştirilen ve yüzeyini çevreleyen, 30.000 bitkiden oluşan yeşil cephesi ile ön plana çıkmaktadır (Ravenscroft, 2020). Yapının kademeli yeşil cephesi, bitişiğinde bulunan Hofgarten Parkı’na engelsiz bir görüş açısı sunmakta ve parkın yeşilliğini şehrin içine doğru genişletmektedir (Şekil-15) (Ingenhoven Associates, 2019). Yeşil cepheyi oluşturan gürgen çitler, binanın inşası tamamlandıktan sonra, parça parça cepheye yerleştirilerek 8 kilometrelik uzunluğa sahip olup, 80 adet tam büyümüş yaprak döken ağaca eşdeğer bir ekolojik fayda sağlamaktadır (Şekil-16). Cephede kullanılan bitkilerin; kışın yapraklarını koruması, kuzey ve batı yönelimli gelişmesi, güçlü rüzgâr hızlarına dayanması, böceklerden etkilenme ihtimalleri düşük olması ve yılda sadece iki ila üç budama gerektirmesi gibi özellikleri; bakım ve kış aylarında ısıtmaya duyulan ihtiyacın azaltılması konusunda avantaj sağlamaktadır (Ravenscroft, 2020). Ayrıca cephedeki yoğun bitki örtüsü; yapının CO₂ ayak izini azaltmakta, yoğun güneş ışığına maruz kalındığında iç mekândaki sıcaklık artışını önlemekte ve emilen enerjinin %40’ını su buharına dönüştürerek doğal soğutma sağlamakta, şehir içi ısı etkisini azaltmakta, ince tozu ve CO₂’yi emip oksijen üreterek havayı temizlemekte ve havanın nemlendirilmesine yardımcı olmaktadır (Ingenhoven Associates, 2019; Ibrahim, 2022). Binadaki yeşil cephe uygulaması; kent içindeki yeşil dokuya sağladığı katkı ve çevresel faydası ile ön plana çıkmaktadır.



Şekil-15. Kö-Bogen II cephesinin genel görünümü
(Ingenhoven Architects/HGEsch, 2020)



Şekil-16. Cephenin detay görünümü
(Ingenhoven Architects/HGEsch, 2020)

5.4.4. Asma Sistemi: Le Nouvel KLCC (2016)

Bu sistemde özellikle sarıcı-tırmanıcı bitki türleri tercih edilmektedir. Cephe yüzeyine monte edilen metal gergi veya hasır malzemelere, kökleri zemin kotunda bırakılan bitkiler sardırılarak kaplama yapılmaktadır (DecDor, b.t.). Asma sisteme örnek olarak Le Nouvel KLCC konut binası incelenecektir.

Pritzker Mimarlık Ödülü’ne sahip Jean Nouvel’in tasarladığı ve kendi ismini verdiği Le Nouvel KLCC; Kuala Lumpur, Malezya’da bulunan çift kuleli, 195 daireli bir rezidanstr. 34.katta gökyüzü köprüsü ile birbirine bağlanan, 49 ve 43 katlı 2 kuleden oluşan yapı; 243 farklı sarmaşık türünün, yüksekliği 200 metreyi bulan cepheyi kaplamak üzere yüzeye yerleştirilen çelik kablolarla tutturulması sonucunda en yüksek asma sistemli biyoçeşitliliğin sağlandığı yeşil cephelerden birine sahip olması ile ön plana çıkmaktadır (Şekil-17) (Blanc, 2016). Her iki kulenin cephesi, cam cephenin önüne yerleştirilmiş paslanmaz çelik kablolarla desteklenen, güneşten korunma sağlayan dikey yeşil bitki bahçesi sunmaktadır (Şekil-18). Dikey bahçenin yapıya entegrasyonu, görsel olarak estetik bir cephe oluşturmaktadır (Newtecnic, b.t.). Cephede kullanılacak bitki türünün belirlenmesinde mimarla iş birliği içinde olan botanikçi Patrick Blanc cepheyi; “tamamı tırmanıcı bitkilerden oluşan, dünyanın ilk botanik bahçesi” olarak tanımlamaktadır. Bitkileri seçerken; iklime, rüzgâra, güneşe ve diğer tüm çevresel özelliklere karşı dayanıklılığını göz önünde bulundurarak belirlediğini ifade etmektedir (Blanc, 2016). Cam cephe ile yeşillik bütünlüğü, cepheye çeşitli bitkilerden oluşan doğal ve canlı bir görünüm kazandırmasının yanında, yeşil cephenin bir gölgeleme elemanı olarak çalışmasını sağlamıştır (Şekil-19).



Şekil-17. Le Nouvel KLCC cephesinin genel görünümü (Blanc, 2016)

Şekil-18. Cephenin detay görünümü (Blanc, 2016)

Şekil-19. Cephenin detay görünümü (Blanc, 2016)

6. SONUÇ

Doğanın, her geçen gün insan hayatındaki etkisi azalmakta, önemi ise artmaktadır. Bu çelişkinin giderilmesi için çeşitli doğa temelli tasarım yaklaşımları ön plana çıkmıştır. Doğal yaşamın insan üzerindeki hem psikolojik hem de fiziksel faydası, yapılan birçok araştırma ile desteklenmiştir. Bu çalışmada yapılan incelemeler sonucunda; insanın doğaya içgüdüsel bağlılığını ve tasarımın bu bağlılığa göre şekillenmesi gerektiği görüşünü temsil eden biyofilik tasarım anlayışının, doğal yaşam deneyiminin insan hayatında tekrar egemen kılınması adına, doğa temelli tasarım yaklaşımları arasından en kapsamlı anlayışı temsil ettiği öngörülmüştür. Bu öngöründe bulunulmasında biyofilik tasarımın, doğa-insan ilişkisini yapıda sadece form veya malzeme odaklı değil, duygusal açıdan da ele alması etkili olmuştur. Biyofilik tasarımın; ilkeleri, kentlerde uygulanabilirliği ve bunun çevreye katkısı göz önünde bulundurulduğunda ise en etkili uygulamalardan birinin yeşil cephe uygulamaları olduğu belirlenmiştir.

Yeşil cepheler; arazi kullanımı gerektirmemesi ve günümüz şehirlerinin genel silüetlerini oluşturan bina cephelerine uygulanması sayesinde geniş bir uygulama alanına sahiptir. Bu kapsamda biyofilik tasarım anlayışının kentin genelinde hâkim kılınması için yeşil cephe uygulaması yaygınlaştırılmalıdır. Yeşil cephelerin iki uygulama çeşidinden birisi olan doğrudan yeşil cepheler, daha geleneksel bir uygulama olup; bakımının zor olması, hijyen problemi, yapının yüzeyindeki hasarı nem ve bitkinin çeşitli uzantıları ile artırması gibi dezavantajları mevcuttur. Dolaylı yeşil cephelerin, yapı ile yeşil cephe arasında bırakılan boşluk sayesinde bu dezavantajları önemli ölçüde gidermesi ve daha geniş perspektifte tasarım imkânı sunması sebebiyle, doğrudan yeşil cephelere göre daha ideal bir çözüm olarak ön plana çıkmaktadır.

Yeşil cephelerin sağladığı çevresel, fiziksel, psikolojik faydaların (Tablo-1) yanında; yanlış bitki türü seçimi, su tüketimi, bakım ve işletim sürecinin süreklilik gerektirmesi, hijyen problemi ve maliyet gibi çeşitli dezavantajları da bulunmaktadır. Ölüm oranı düşük, az su tüketen bitkilerin tercih edilmesi, uygun yeşil cephe sisteminin belirlenip doğru bir şekilde uygulanması, yeşil cephenin geri kazanılmış sularla sulanmasının sağlanması bu dezavantajların giderilmesine yardımcı olmaktadır. Belirtilen dezavantajlara rağmen önerilen çözümler ve potansiyel faydalarının çok yönlülüğü dikkate alındığında yeşil cephenin tasarımlarda neden tercih edilmesi gerektiğine dair olumlu çıkarımlar yapılabilmektedir. Ayrıca çalışma kapsamında incelenen örneklerde görüldüğü üzere; yeşil cepheler, sürdürülebilir özelliklerinin yanında farklı sistemlere (ızgara, panel, modüler, asma) sahip çeşitli uygulamalarıyla yapıya estetik bir görünüm kazandırmaktadır. Yapıya yeşil cepheyi entegre edebilmek için ilk olarak tasarıma uygun bir yeşil cephe sistemi belirlenmeli, daha sonra belirlenen sistemin altyapı unsuru sağlanmalı ve doğru sulama sistemleri bağlanmalıdır. Böylece cephedeki canlı ve estetik görünümün korunması sağlanacaktır.

Sonuç olarak; doğanın insan ve kent yaşamındaki varlığının artırılması, uzun vadeli düşünüldüğünde bir tercih değil ihtiyaçtır. Bunun içinde en etkili uygulamalardan bir tanesi, biyofilik tasarım yaklaşımı kapsamında yeşil cephe uygulamasıdır. Yeşil cepheler; ASI Reisen Headquarters örneğinde görüldüğü gibi ısı yalıtımı ve gölgeleme görevi görerek, iç mekân konforunu ve enerji verimliliğini sağlayabilmekte; Citicape House örneğinde görüldüğü üzere karbon emisyonunu azaltıp, oksijen üretimi sağlayarak ve havadaki partikülleri tutarak hava kalitesini arttırabilmekle beraber gürültü ve toz kirliliğini de önleyebilmekte; Kö-Bogen II örneğinde görüldüğü gibi çevresindeki yeşil alanların güçlendirilmesine ve yeşil dokunun şehrin içine doğru genişlemesine yardımcı olmakta; Le Nouvel KLCC örneğinde görüldüğü gibi farklı bitki türlerini barındırması sayesinde biyoçeşitliliğin artmasına katkı sağlamasının yanında cepheye doğal, estetik ve canlı bir görünüm de kazandırabilmektedir. Ayrıca yeşil dokunun insan psikolojisini de olumlu yönde etkilediği pek çok araştırma ile kanıtlanmıştır. Bütün bu veriler ışığında; yapı yoğunluğunun fazla olduğu kentlerde yeşil dokuyu hâkim kılmak; daha sürdürülebilir ve insan odaklı yapılar tasarlamak için yeşil cephenin kullanımının arttırılması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- Addo-Bankas, O., Zhao, Y., Vymazal, J., Yuan, Y., Fu, J., & Wei, T. (2021). Green walls: A form of constructed wetland in green buildings. *Ecological Engineering*, 169, 106321.
- Bayraktaroğlu, Ö. E. (2014). Mimarlıkta Ekosistem Düşüncesiyle Tasarlamak. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Blanc, P. (2016). LE NOUVEL, KUALA LUMPUR. Vertical Garden Patrick Blanc. <https://www.verticalgardenpatrickblanc.com/realisations/kuala-lumpur/le-nouvel-kuala-lumpur?page=1> Erişim Tarihi: 31 Mayıs 2023.
- Blanco, I., Vox, G., Schettini, E., & Russo, G. (2021). Assessment of the environmental loads of green façades in buildings: a comparison with un-vegetated exterior walls. *Journal of Environmental Management*, 294, 112927.
- Browning, W.D., Ryan, C.O., Clancy, J.O. (2014). 14 Patterns of Biophilic Design. New York: Terrapin Bright Green LLC.
- Bustami, R. A., Belusko, M., Ward, J., & Beecham, S. (2018). Vertical greenery systems: A systematic review of research trends. *Building and Environment*, 146, 226-237.
- Chow, E. L. (2020). Site-Specific, Sculptural Green Wall Systems as Artistic Activism: Promoting a Sense of Place and Wellbeing in Hawai 'i through Biophilic Design. Doctoral dissertation, University of Hawai'i at Manoa.
- Coma, J., Perez, G., de Gracia, A., Burés, S., Urrestarazu, M., & Cabeza, L. F. (2017). Vertical greenery systems for energy savings in buildings: A comparative study between green walls and green facades. *Building and environment*, 111, 228-237.
- Corbis (2019). The Hanging Gardens of Babylon. *Asian Geographic*. <https://asiangeo.com/heritage/the-hanging-gardens-of-babylon/> Erişim Tarihi: 11 Mayıs 2023.
- Crook, L. (2019). Europe's largest green wall "will absorb eight tonnes of pollution annually" in London. *Dezeen*. <https://www.dezeen.com/2019/11/11/citicafe-house-green-wall-architecture-sheppard-robson/> Erişim Tarihi: 30 Mayıs 2023.
- Crook, L. (2020). Snøhetta wraps timber office in plant-covered suspended metal frame. *Dezeen*. <https://www.dezeen.com/2020/08/27/snohetta-asi-reisen-headquarters-office-austria/> Erişim Tarihi: 30 Mayıs 2023.
- DecDor. (b.t.). Yeşil Dış Cephe Kaplama. DecDor. <https://www.decdor.com/yesil-dis-cephe-klama/> Erişim Tarihi: 01 Haziran 2023.
- Downton, P., Jones, D., Zeunert, J., & Roös, P. (2017). Biophilic design applications: Putting theory and patterns into built environment practice. *KnE Engineering*, 59-65.
- Flatscher, C. (b.t.). ASI Reisen Headquarters – A Lush Open Office Space in Timber. *Archello*. <https://archello.com/project/asi-reisen-headquarters> Erişim Tarihi: 30 Mayıs 2023.
- Fonseca, F., Paschoalino, M., & Silva, L. (2023). Health and Well-Being Benefits of Outdoor and Indoor Vertical Greening Systems: A Review. *Sustainability*, 15(5), 4107.

- González-Díaz, M. J., & García-Navarro, J. (2016). Non-technical approach to the challenges of ecological architecture: Learning from Van der Laan. *Frontiers of Architectural Research*, 5(2), 202-212.
- Ingenhoven Architects / HGEsch. (2020). Ingenhoven Architects wraps Düsseldorf office with five miles of hedges to create Europe's largest green facade. *Dezeen*. <https://www.dezeen.com/2020/05/04/ingenhoven-architects-dusseldorf-ko-bogen-ii-office-hedges/> Erişim Tarihi: 30 Mayıs 2023.
- Ingenhoven Associates. (2019). Kö-Bogen II. *Archello*. <https://archello.com/project/ko-bogen-ii> Erişim Tarihi: 30 Mayıs 2023.
- İbrahim N, N. (2022). Kö-Bogen II: Europe's largest Green Facade in Düsseldorf, Germany by CENTRUM Group, B&L Group and Ingenhoven Architects. *Amazing Architecture*. <https://amazingarchitecture.com/mixed-use-buildings/ko-bogen-ii-europes-largest-green-facade-in-dusseldorf-germany-by-centrum-group-bl-group-and-ingenhoven-architects> Erişim Tarihi: 30 Mayıs 2023.
- İrfanoğlu, H. İ., & Leyla, S. U. R. İ. (2022). Biyofilik Tasarım Kriterlerinin Mekânlar Üzerinden Değerlendirilmesi. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 21(41), 95-116.
- Katana, B., Green Facade Systems as Technology of Removing Heat from Indoor Environment.
- Kellert, S., & Calabrese, E. (2015). The practice of biophilic design. London: Terrapin Bright LLC, 3, 21-46.
- Kobyay, H. B. (2017). Düşey yeşil cepheler ve yeşil çatıların ekolojik kriterler bakımından incelenmesi ve enerji verimliliğinin değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Lyle, J. T. (1994). *Regenerative design for sustainable development*. John Wiley & Sons, New York, NY.
- Modi, K., & Parmar, S. (2020). Understanding biophilia and its integration with architecture. *International Journal of Scientific Engineering and Research*, 11(5).
- Newtecnic. (b.t.). Le Nouvel (formerly Menara DNP Towers), Kuala Lumpur, Malaysia. *Newtecnic*. <https://newtecnic.com/le-nouvel-kuala-lumpur-malaysia> Erişim Tarihi: 31 Mayıs 2023.
- Pérez-Urrestarazu, L., Fernández-Cañero, R., Franco-Salas, A., & Egea, G. (2015). Vertical greening systems and sustainable cities. *Journal of Urban Technology*, 22(4), 65-85.
- Perini, K., & Rosasco, P. (2013). Cost-benefit analysis for green façades and living wall systems. *Building and Environment*, 70, 110-121.
- Ravenscroft, T. (2020). Ingenhoven Architects wraps Düsseldorf office with five miles of hedges to create Europe's largest green facade. *Dezeen*. <https://www.dezeen.com/2020/05/04/ingenhoven-architects-dusseldorf-ko-bogen-ii-office-hedges/> Erişim Tarihi: 30 Mayıs 2023.
- Robbins, G. (2006). Farnsworth House Online Image. *Flickr*. https://www.flickr.com/photos/greg_robbins/282855905/in/album-72157594350732180/ Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023.
- Robson, S. (b.t.). Citicape House creates a distinctive architectural statement, while absorbing eight tonnes of pollution annually and setting the standard for urban greening in London. *Sheppard Robson*. <https://www.sheppardrobson.com/projects/citicapec-house> Erişim Tarihi: 30 Mayıs 2023.

- Sandstead, L. (2003). Fallingwater, Frank Lloyd Wright, 1939. Sandstead. http://www.sandstead.com/images/fallingwater/WRIGHT_FL_Fallingwater_1939_LS_d100_06.jpg Erişim Tarihi: 11 Mayıs 2023.
- Snøhetta, (b.t.). ASI Reisen Headquarters – A Lush Open Office Space in Timber. Archello. <https://archello.com/de/project/asi-reisen-headquarters> Erişim Tarihi: 30 Mayıs 2023.
- Şenozan, M. I. (2018). İnsan-mekan-doğa etkileşiminin sürdürülebilir bir öğretisi olarak biyofilik tasarım Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Wasista, I. P. U., & Kerdiati, N. L. K. R. (2021). The Forgotten Barong Kedingkling and Legong Tombol as Green Facade Inspiration. *Journal of Aesthetics, Design, and Art Management*, 1(1), 43-48.
- Wikipedia. (2021). Hasta Bina Sendromu. Wikipedia. https://tr.wikipedia.org/wiki/Hasta_bina_sendromu Erişim Tarihi: 15 Nisan 2023.
- Zhong, W., Schröder, T., & Bekkering, J. (2022). Biophilic design in architecture and its contributions to health, well-being, and sustainability: A critical review. *Frontiers of Architectural Research*, 11(1), 114-141.

{Bu sayfa özellikle boş bırakılmıştır}

Araştırma Makalesi/Derleme Makalesi

KENTSEL DÖNÜŞÜMÜN KARTAL İLÇESİNDEKİ ETKİSİ

† Tülin ATAKAN, †† Leyla SURI

† İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü / Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi Programı, İstanbul, Türkiye

†† İstanbul Ticaret Üniversitesi, Enstitüsü / Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Mimarlık Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye

atakantuliin@gmail.com, lsuri@ticaret.edu.tr



0009-0002-5101-6929, 0000 0002 3225 1221

Atıf/Citation: ATAKAN, T., SURI, L., (2023). Kentsel Dönüşümün Kartal İlçesindeki Etkisi, Journal of Technology and Applied Sciences 6(2) s.115-128, DOI: 10.56809/icujtas.1319932

ÖZET

Bir yerleşim yerini diğer yerleşim yerlerinden ayıran en temel özellikler o yerin tarihi kimliğini oluşturmaktadır. Kimlik olgusu kentleri farklılaştıran onu özel yapan ayırım olarak tanımlanabilir. Her kentin kendine ait fiziksel, sosyal, ekonomik ve fonksiyonel bir karakteristiği bulunmaktadır. Kent kimliğini, tüm bu bileşenler bir araya gelerek birlikte üretmektedir. Kent özelinde yaşanan nüfus hareketliliği, göç, sanayileşme, doğal afet vs gibi fiziki, sosyal ve yönetsel sebepler tarihi kent çekirdeğini değişime zorlamaktadır. Bu çalışmada İstanbul'un dönüşümüne paralel olarak İstanbul Metropolitan Alanının kentsel gelişme stratejilerine uygun bir biçimde, üst düzey merkez kimliği ile tüm metropole hizmet eden Kartal İlçesi özelinde ele alınan yönetsel kararlar ile fiziki ve sosyal faktörlerin tarihi çekirdeğin kimliği üzerindeki etkisi ele alınmıştır. Elde edilen sonuçların ilçenin gelecek mekânsal planlama stratejilerine kaynaklık edeceği düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Kentsel dönüşüm, kent kimliği, Kartal ilçesi

THE EFFECT OF URBAN TRANSFORMATION IN KARTAL DISTRICT

ABSTRACT

The most basic features that distinguish a settlement from other settlements constitute the historical identity of that place. The phenomenon of identity can be defined as the distinction that differentiates cities and makes them special. Each city has its own physical, social, economic and functional characteristics. All these components come together to produce the urban identity together. Physical, social and administrative reasons such as population mobility, migration, industrialization, natural disaster, etc. experienced in the city force the historical city core to change. In this study, in line with the transformation of Istanbul, in accordance with the urban development strategies of the Istanbul Metropolitan Area, the administrative decisions taken specifically in Kartal District, which serves the entire metropolis with its high-level central identity, and the effects of physical and social factors on the identity of the historical core are discussed. It is thought that the results obtained will be a source for the future spatial planning strategies of the district.*Critical: Do not use symbols, special characters, or math in paper title and abstract.

Keywords: Urban transformation, urban identity, Kartal district

Geliş/Received	:	25.06.2023
Gözden Geçirme/Revised	:	28.07.2023
Kabul/Accepted	:	10.08.2023

1. GİRİŞ

Kentsel dönüşüm, tarihin yeniden değerlendirilmesi için benimsenen bir strateji olarak kabul edilebilir. Tarihi mekânların kimliğini koruyarak kentsel mekânın aktif bir parçası olma fikri, toplumsal devamlılığı sağlamak için çok önemlidir. Dolayısıyla gerekli koruma, restorasyon, rehabilitasyon, yapıların tarihi görüntülerden arındırılması, anıtsal görüntünün korunması, daha sağlıklı yaşam alanlarının yaratılması ve çevresel sürdürülebilirliğin sağlanması gerekmektedir. Bu nedenle kentsel dönüşüm projelerinde sağlanması gereken ilkelerin toplumun sürdürülebilirliği çerçevesinde yeniden oluşturulması gerekmektedir. Bu çalışma, kentsel dönüşüm projelerinde tarihi mahalleler bağlamında benimsenecek strateji ve ilkelerin yetersiz kalması sorununa odaklanmaktadır. İstanbul'un artan cazibesi, İstanbul'a yönelen göçü ve nüfusu artırmış ve buna paralel olarak hukuka aykırı bir şekilde gecekondulaşma ve kaçak yapılaşma şeklinde inşa edilen konut alanlarının da hızla yayılmasına yol açmıştır. Doğu yakasında da büyümeye devam eden yapılaşma, 1960'li yıllarda Kartal'da artmaya başlamış ve küçük bir balıkçı köyü olan yerleşmenin 15-20 yıl içinde hisseli ifraz, gecekondulaşma ve kaçak yapılaşma dokusunda büyüyen yerleşmesine neden olmuştur. Böylece göçle gelen nüfusa bağlı olarak, Kartal yerleşmesinin tarihi çekirdeği hızla değişmiştir. Hızlı göçün ve yapılaşmanın olumsuz etkilerini azaltmak için kent hızlı bir dönüşüm içine girmiş ve altyapı yatırımları artmıştır. Değişen ekonomik yapının etkisiyle hissedilen gelişme potansiyelinin kent içinde dengeli dağıtılması, çevresel ve kültürel değerlerin korunması, kentin işlerliği açısından giderek daha önemli bir konu haline gelmiştir. Sanayileşmenin, göçün ve çarpık kentleşmenin yıkıcı etkilerinin tarihi çekirdek üzerindeki olumsuz etkilerinin en aza indirilmesi kentin kimliği açısından son derece önemlidir. Dolayısıyla çalışmanın amacı, Kartal ilçesinde gerçekleştirilen kentsel dönüşüm etkisinin incelenmesidir. Bu nedenle, bu çalışmada İstanbul'un Kartal İlçesi'nin mevcut durumu ortaya konulmuş ayrıca fiziki, sosyal ve yönetsel faktörlerin tarihi çekirdek üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

2. KENTSEL DÖNÜŞÜM

Eski, köhne, konutlar, yetersiz ulaşım ve altyapı sistemleri, gelişigüzel arazi kullanımı, trafik kaosu, kentin yozlaşması gibi neden olduğu sosyolojik sorunların iyileştirilmesi için anlaşılır bir şema olarak tanımlanan kentsel dönüşüm, dönüşüme uğrayan bir alanın ekonomik, fiziksel ve sosyal koşullarına sürdürülebilir iyileştirme getirmeyi amaçlayan kapsamlı bir vizyon ve eylemdir. Kentsel dönüşüm, kentin fiziki, ekonomik ve sosyal koşullarına cevap vermeyen kentsel alanların gelişimine ve planlı ilerlemesine paralel olarak, kent insanının yaşam kalitesini artırmaya ve eski değerine kavuşturmaya yönelik eylem ve planlar olarak tanımlanabilir (Roberts ve Sykes, 2000: 35).

Dünyada kentsel dönüşüm çalışmaları, İkinci Dünya Savaşı'nda hasar gören şehirlerde konutların yeniden yapılmasıyla başlamıştır. Bu sayede savaş halkının normal hayata uyum sağlayabilmesi ve yaşam standartlarını yükseltebilmesi için devlet müdahalesiyle iyileştirme çalışmaları yapılmıştır. Düşük gelirli vatandaşların yaşadığı, yaşlanan semtlerdeki kalitesiz konut sorununa çözüm üretmeyi amaçlayan, çoğunlukla devlet müdahalesine dayanan, konut temelli bir süreci anlatmak için kullanılmıştır (Kocabaş, 2006: 54).

Kentsel dönüşümde toplumsal içeriği gündeme getiren önemli gelişmelerden biri, Avrupa Birliği'nin son yirmi yılda hem gerileyen hem de gelişen kentlerde kentsel alanların sorunlarına işaret ederek gerçekleştirdiği çalışmalar olmuştur (Atkinson, 2004: 27).

Kentsel dönüşümün sosyolojik boyutunun incelenmesinin önemi bu uygulamaların başarısızlıkla sonuçlanmasıyla ortaya çıkmıştır. Unutulmamalıdır ki kentsel dönüşüm projelerinde en önemli aktör yerel halktır ve onlar olmadan sağlıklı bir çalışma yapılamamaktadır. Bu nedenle kentsel dönüşümde aktörler, ortaklar ve katılım gibi konular ön plana çıkmaktadır (Roberts, 2000: 39).

Türkiye hem tarihi hem de kültürel açıdan zengin bir ülkedir. Ancak bu zenginlikten faydalanmak için bölgelerin rehabilite edilmesi, çevrenin düzenlenmesi ve yerel halkın ekonomik koşullarının iyileştirilmesi gerekmektedir. Bu sayede eski alanlar, halkın ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde şehre restore edilebilir. Bu nedenle kentsel dönüşümün yeterince anlaşılabilmesi için öncelikle kentsel dönüşümün ne olduğunun anlaşılması ve ardından yasal çerçevenin oluşturulması ve uygulanması gerekmektedir (Tekeli, 2001: 59).

Osmanlı döneminde ahşap yapılar yerine taş yapıların yapılması aslında bir modernleşme hareketi olarak görülebilir. Osmanlı padişahlarının yeni mimari değişimin gerçekleştirilmesi adına yurt dışına çok sayıda mimar ve mühendisi eğitim için gönderdikleri bilinmektedir. Mimarlar ve mühendisler yeniliklerini şehirlere yansıtmışlardır. Cumhuriyet Dönemine gelindiğinde; Başkent Ankara'nın planlanmasıyla başlayan süreç diğer şehirlere de yayılmış, bu şekilde planlama çalışmaları başlamıştır. 1930'lar, planlamanın belirli bir sistem içinde çerçevelenmeye çalışıldığı bir dönemdir. Ankara'dan Anadolu'nun diğer kentlerine yayılan süreçte yeni yerleşim

alanlarının planlanması, yolların geliştirilmesi gibi temel imar planlarının başlatılması gerçekleştirilmiştir. Bununla birlikte İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra Türkiye hızla kentleşmeye ve yeni bir ekonomik plan oluşturmaya başlamıştır (Ataöv ve Osmay, 2007).

1950-1960 yılları arasındaki değişim ve yenilenme hareketleri, Ankara ve İstanbul'da bazı alanların tahrip edilmesiyle uygulanmaya başlamıştır. Bu yıkımlar ülkemizdeki yenilenme hareketlerinin başlangıç noktası olarak görülmektedir. 1956 yılında yürürlüğe giren 6785 sayılı Kanun ile belediye sınırları içerisindeki planlama ve yapılaşma konuları ile ruhsatlandırma işlemleri belirli kriterlere tabi tutulmuş ve imar planı çalışmalarında alanın belirli bir nüfus yoğunluğuna sahip olması zorunlu tutulmuştur. Bu dönemde sanayileşme hamlesi ile birlikte kırdan kente göç hareketi de hızlanmaya başlamıştır. Birçok insan yeni iş fırsatlarına ulaşmak için şehirlere göç etmiştir. Şehirlerdeki hızlı nüfus artışı maalesef işsizliği ve düzensiz kentleşmeyi de beraberinde getirmiştir. Halk, ekonomik durumunun kötü olması nedeniyle kent merkezlerine yakın bölgelerde gecekondu yerleşimleri inşa etmiştir. Yerel yönetimlerin yaptırım uygulamaması nedeniyle günümüzde kentlerin belli bir yüzdesi gecekondu yerleşimlerini oluşturmaktadır. Gecekondularda yaşayan ve sağlıksız bir ortamda yaşayan insanların yaşam kalitelerinin düşük olması nedeniyle gecekondu yerleşimlerinde kentsel dönüşüm projeleri yapılmaya başlanmıştır (Keleş, 2004: 17).

1961 yılında Devlet Planlama Teşkilatı'nın kurulmasıyla planlama alanındaki çalışmalar yaygınlaşmıştır. 1985 yılında çıkarılan imar kanunu ile düzensiz kentleşmenin önüne geçmek için büyük bir adım atılmıştır. Yurtdışındaki kentsel dönüşüm örneklerinden yola çıkılarak Ankara, İstanbul gibi büyük şehirlerimizde kentsel dönüşüm projeleri gerçekleştirilmiştir. Ancak gerekli altyapı ve mali koşulların olmaması nedeniyle sonuçlar olumsuz olmuştur. Böylece ülkemizdeki kentsel dönüşüm maalesef alanların bir rant ve soylulaştırma projesine evrilmiştir (İslam ve Behar, 2006: 28).

3. KENT KİMLİĞİ

Lynch (1960), bir kentteki çevresel imajı üç başlık altında incelemiştir. Bunlar kimlik, yapı ve anlamdır. Bu kavrama göre, kimliği ayrılabilir bir varlık olarak tanınmasını ima eden bir nesne olarak tanımlamıştır. Yapı, nesnenin gözlemciyle uzamsal veya örüntü ilişkisini içermelidir. Son olarak, bu nesne pratik veya duygusal olup olmadığına bakılmaksızın gözlemci için anlamlı olmalıdır. Dolayısıyla anlam ilişkisi kimlik ve yapıdan farklıdır. Ayrıca anlam, yer kimliği için çok önemli bir şeydir. Sosyal grupların farklı kullanımları ve deneyimleri tarafından belirlenmektedir.

Bu alanların altında yatan sosyal değerler, anlamlar ve kavramlarda da buna karşılık gelen farklılıklar vardır. Sosyal çevre ile fiziksel çevre arasındaki ayrılmaz bağ, bireylerin belirlediği imge, duygu ve anıların bir araya gelmesiyle oluşan sosyokültürel değerlerdir. Bu bağlamda, çevresel anlam, inşa edilmiş çevrenin çeşitli parçaları ve bireyler arasındaki sembolik ve duygusal ilişkileri içermektedir. Bu anlamların yanı sıra mekâna ilişkin uygun davranış ve beklentiler kültürel olarak aktarılmakta ve bireyin fiziksel dünyadaki kendi deneyimleriyle bütünleştirilmektedir. Bu anlamlara ek olarak mekâna ilişkin uygun davranış ve beklentiler de kültürel olarak mekâna aktarılmaktadır. Böylece mekânsal bütünlük, bireyin kendi deneyimlerini fiziksel dünyayla bütünleştirilmesiyle sağlanmaktadır. Nitekim mekânın kimliği, her insanın günlük davranışlarıyla varoluşunu tanımlayan deneyimler ve anlamlar bütünüdür (Oktay, 2011: 9).

Her insanın çeşitli fiziksel çevrelere ve günlük deneyimlere sahip olduğu düşünüldüğünde, mekânın kimliği ayrı ve çeşitlidir. Ayrıca yer kimliği, belirli yerlere ait yapı özellikleri, değerler, düşünceler, inançlar, anlamlar ve davranışlar ve deneyleri tanımlamaktadır (Proshansky, Fabian ve Kaminoff, 1983). Bu bağlamda Relph (1976), mekânın heterojen ve mekânsal olarak düzenlenmiş insan yaşam deneyimleri ve faaliyetleri olduğunu vurgulamaktadır. Böylece fiziksel çevre ve deneyimle bütünleşen alanı tanımlamaktadır. Sonuç olarak yer kimliği, bir yeri "diğerlerinden" ayıran her türlü aynılık ve bütünlük kavramları olarak tanımlanmaktadır. Bu bağlamda, bu kalıcı kimliği üç şekilde tanımlamıştır. Bunlar, yerin fiziksel ortamı, fiiller, durumlar ve koşullar ile insanların bu yerle ilgili deneyimleri ve bireysel ve grup anlamlarıdır. Rossi (1984), ortak bir hafızaya sahip şehir sakinlerinin nesnelere ve yerlerle ilişkilendirildiğinden bahsetmektedir. Kent, toplumsal hafızanın yeridir. Mekân ve sakinler arasındaki bu ilişki, hem mimari hem de peyzaj olarak şehrin baskın imajı haline gelmekte ve böylece bazı eserler hafızanın bir parçasını oluşturmaktadır.

Lynch'e (1960) göre kentsel kimlik, ayrılabilir bir varlık olarak tanınmasını ima eden bir nesne olarak tanımlanmıştır. Ayrıca kimlik, bir yeri diğer yerlerden farklı olarak tanıma veya hatırlama derecesi olarak bir yer duygusunu vermektedir. Bu durum şehirlere canlı ve özgün bir karakter kazandırmaktadır (Lynch, 1984). Tekeli'ye (1991) göre kentin kimliği, içinde yer aldığı değerler, bir dizi amaç ve kente yüklenen anlam kavramlarından oluşmaktadır. Ayrıca kentsel kimlik kavramı, fiziksel çevre ve insanların deneyimlerinden

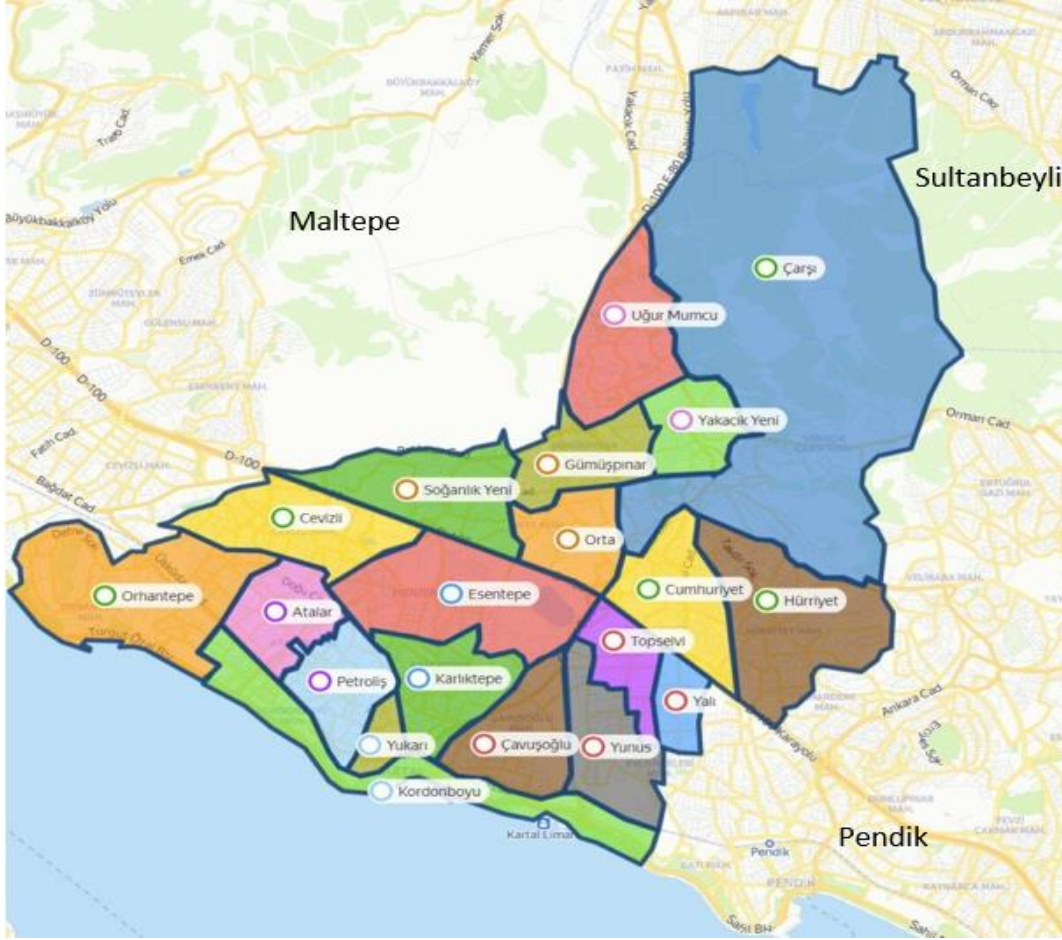
oluşmaktadır. Bu nedenle kentsel kimlik, insanların yaşam alanlarına verdikleri değer ve bağlılık olarak tanımlanmaktadır. Lallı'ya (1988) göre kent kimliği, kişinin kendi kimliği ile kentsel çevre arasındaki karmaşık ilişkinin sonucudur. Şehir, bireyin biriktirdiği kişisel deneyimi sembolize etmektedir. Kent kimliğinin bir diğer özelliği de belirli bir yerin sakinlerini diğer insanlardan ayırt edebilme yeteneğidir. Bu aidiyet, gerekli "farklı" bir algıyı sağlamakla kalmamakta, aynı zamanda kente ilişkin bireysel nitelikleri de vermektedir. Kentsel çevrenin çarpıcı özellikleri kentin simgesi haline gelmiştir. Ayrıca bir yerleşimin algılanabileceği ve tanımlanabileceği unsurlar değerlerle ilişkilendirilebilmektedir. Bu, çevresel biçim ile insan algısı veya biliş süreçleri arasındaki bağlantıdır. Anlam, yalnızca mekânsal biçim ve kaliteye değil, aynı zamanda gözlemcinin kültürüne, durumuna ve deneyimine de bağlıdır. Böylece belirli bir yerin hissi insanların algısına göre değişecektir. Sonuç olarak, kent kimliğini oluşturan öğelerin, bir kenti temsil eden doğal, sosyal ve yapısal çevre öğeleri olduğu belirtilmiştir (Lynch, 1984).

4. KENTSEL DÖNÜŞÜM UYGULAMALARININ KENT KİMLİĞİNE ETKİSİ: KARTAL ÖRNEĞİ

Bu araştırma, Kartal ilçesi özelinde, tarihi süreç içerisinde kentsel dönüşüm uygulamalarının kent kimliği üzerindeki etkisine dair sürecin analizini yapmaktadır. Bu bağlamda öncelikle literatür taraması gerçekleştirilmiştir. Kartal ilçesini ve kentsel dönüşümünü konu alan ulusal ve uluslararası literatürde bulunan kitap, makale, tez, rapor vb. kaynaklar taranmıştır. Literatür taramasında Kartal ilçesinin kent kimliğini oluşturan öğeleri belirlenmiş olup harita ve fotoğraf gibi kanıtlar çalışmaya eklenmiştir. Kentsel dönüşüm ile ilgili olarak, ilçe ve büyükşehir belediye planları ve projeleri ile haritaları üzerinden tarihi süreç içerisindeki değişim ve dönüşüm incelenmiştir. Son olarak, Kartal ilçesinin tarihi süreç içerisindeki dönüşümü ve kent kimliğine etkisi, ulaşılan materyaller ile karşılaştırılarak analiz edilmiştir.

4.1. Kartal'ın Coğrafi Konumu

İstanbul'un Anadolu yakasında (40° 50 K, 29° 11 D) bulunan Kartal İlçesi, Marmara Denizi'ne sınırı olup, kuzey kıyısında bulunmaktadır. 39,7 km² yüzölçümüne sahip olan ilçenin kuzeyinde Sultanbeyli, doğusunda Pendik ve batısında Maltepe ilçeleri bulunmaktadır. İlçenin tam ortasından doğu-batı yönünde E-5 karayolu geçmekte olup, 8 mahallesi E-5 karayolunun kuzeyinde, 12 mahallesi güneyinde kalmaktadır. Kartal ilçesinin Marmara Denizi'ne sınırı olduğundan dolayı, ilçe toprakları, deniz seviyesinden başlamakta ve kuzeye doğru gidildikçe yükselti artmaktadır. İlçenin kuzeyinde bulunan Aydos Dağı'nın yüksekliği 537 metre olup, ilçenin en yüksek noktasını oluşturmaktadır. İlçenin İstanbul merkezine olan uzaklığı ise 36 km.'dir. İlçe sınırları içerisinde bulunan E-5 karayolu, ilçe ulaşımının merkezi konumunda bulunmaktadır. İlçe, E-5 karayolu üzerinde bulunması, denize kıyısı olması nedeniyle İstanbul Deniz Otobüsü seferlerinin olması, Sabiha Gökçen Havalimanına yakınlığının bulunması (24 km.), metro hattı ve Marmaray ulaşım ağının üzerinde bulunması nedeniyle, ulaşım açısından merkezi bir konumdadır (Kartal Belediyesi Stratejik Planı, 2019).



Şekil 1. Kartal İlçesi (kartal.bel.tr)

Şekil 1, Kartal ilçesinin mahallelerini ve çevre ilçeleri göstermektedir. Anadolu yakasının ana arteri olan E-5 (D-100) karayolu, ilçeyi doğu-batı yönünde kesmektedir. İlçenin konut yoğunluğu ise, Marmara Denizi kıyısı ile E-5 karayolunun arasındaki alanda bulunmaktadır. Bu alan aynı zamanda ilçede bulunan sanayi bölgesini de içine almaktadır.

4.2. Kartal'ın Mekânsal Gelişimi

İlçenin tarihi, 6. Yüzyıla kadar gitmektedir. Bizans zamanında ilçeye işlek, büyük bir liman anlamına gelen "Cartalimeni" denilmektedir. İlçenin verimli topraklarının bulunması ve "Prens" veya "Kızıladalar" şeklinde dile getirilen adalar karşısında bulunması, o dönemde ilçe adına avantaj sağlamış ve ilçenin gelişimine katkı sunmuştur (Suri, 1984: 115). 1329 yılında Pelekanon Savaşı ile birlikte bölge Bizans'tan Osmanlı hâkimiyetine girmiştir.

Kartal ilçesi Marmara Denizi kıyısında bulunduğu için, balıkçılığın yapıldığı bir bölgedir. Ayrıca ilçe topraklarının verimli olması, ilçede, bağ ve bahçecilik işlerinin de gerçekleşmesini sağlamıştır. Osmanlı döneminde ilçe, İstanbul'un sebze ve meyve üretiminin karşılandığı bölge olarak bilinmektedir. Ayrıca ilçe sınırları içerisinde bulunan limandan dolayı, ilçeye buğday gemileri de gelmektedir. Gemilerle gelen buğday, değirmenlerde öğütülmekte ve İstanbul'a gönderilmekte, bunun sonucunda ise ilçeye gelir getirmektedir (Tarih Vakfı, 1994).



Şekil 2. Kartal Limanı (Döker, 2012)



Şekil 3. Kartal Tren İstasyonu (1930) (eskiistanbul.net)

İlçenin kimliğine etki eden bir diğer etmen, 1873 yılında tamamlanan Haydarpaşa-Pendik banliyö hattıdır. Banliyö hattının ilçe merkezine yakın bir bölgeden geçmesi, ilçenin gelişimine katkı sunmuştur. Kartal istasyonu ve çevre alanı, kent çekirdeğini oluşturan tarihi bir mekândır. Banliyö hattı ile birlikte, hattın çevresinde imar bakımından gelişme yaşanmış ve nüfus artmıştır. Özellikle Cumhuriyet'in ilanından sonra 1928 yılında Kartal'ın ilçe olması, banliyö hattının yapılması ve iskele-liman faktörleriyle birlikte nüfus artışı yaşanmıştır. 1935 yılına kadar kayda değer bir artış yaşanmamış olup, dile getirilen faktörler ile birlikte ilçe merkezi nüfusu 4462'ye, kasaba ve köy nüfusu ise 6288'e yükselmiştir (Suri, 1984: 125).

İlçenin gelişimine katkı sunan bir diğer etmen ise, Marmara Denizi'ne kıyısının olmasıdır. İlçenin temiz ve geniş kıyılara sahip olması, 1950'li yıllara doğru İstanbul'un sayfiyesi konumuna gelmesine etki etmiştir. O yıllarda ilçe sınırları içerisinde Nizam ve Süreyya Plajları bulunmaktadır. Bölgede bu nedenle çokça villa tarzı yapı inşa edilmiştir. Daha sonra nüfusun artması ile birlikte bu villalar apartmanlara dönüştürülecektir (Özkan Eren, 2017).



Şekil 4. Villaların apartmana dönüşümü (Döker, 2012)



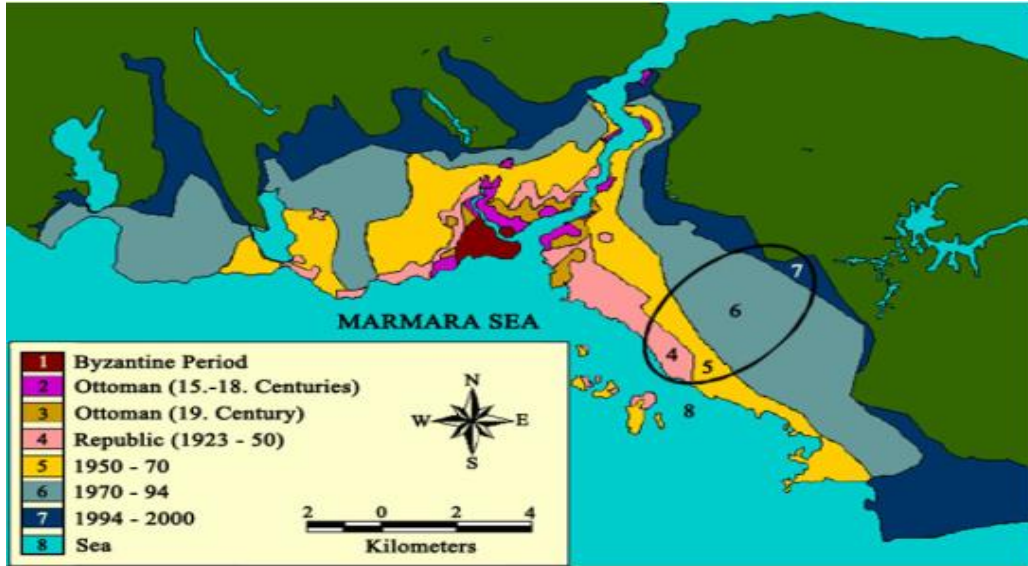
Şekil 5. Süreyya Plajı (1950'li yıllar) (maltepe.bel.tr)

İlçenin imar ve nüfus bakımından gelişimini sağlayan en önemli etmenlerden biri de sanayileşmedir. 1947 yılında ilçe ve çevresini kapsayan alanın sanayi bölgeleri niteliğinde belirlenmesiyle birlikte, dönüşümün yaşanması gerçekleşmiştir. 1950'li yılların ilk başlarından itibaren iskân faaliyetlerine başlanılan bölgede, sanayileşme ile birlikte nüfus artışı yaşanmıştır. Bu yıllarda özellikle Kartal ilçesinde fabrikaların kurulmaya başlandığı görülmektedir. Fabrikalar ile birlikte ilçeye göç başlamış ve nüfus artışları yaşanmıştır. E-5 karayolu üzerinde bulunan Kartal Kavşağından başlamak suretiyle sahile kadar giden cadde "Sanayi Caddesi" olarak dile getirilmiş ve cadde etrafında çeşitli fabrikalar kurulmuştur (Kentsel Strateji, 2009). 1950-1980 yılları arasında bu bölgede toplamda 18 fabrika kurulmuştur. Bunların 4'ü 1950-1960 yılları arasında, 9'u 1960-1970 yılları arasında, 5'i ise 1970-1980 yılları arasında kurulmuştur. Aşağıdaki tabloda bu fabrikalara ait bilgiler verilmiştir.

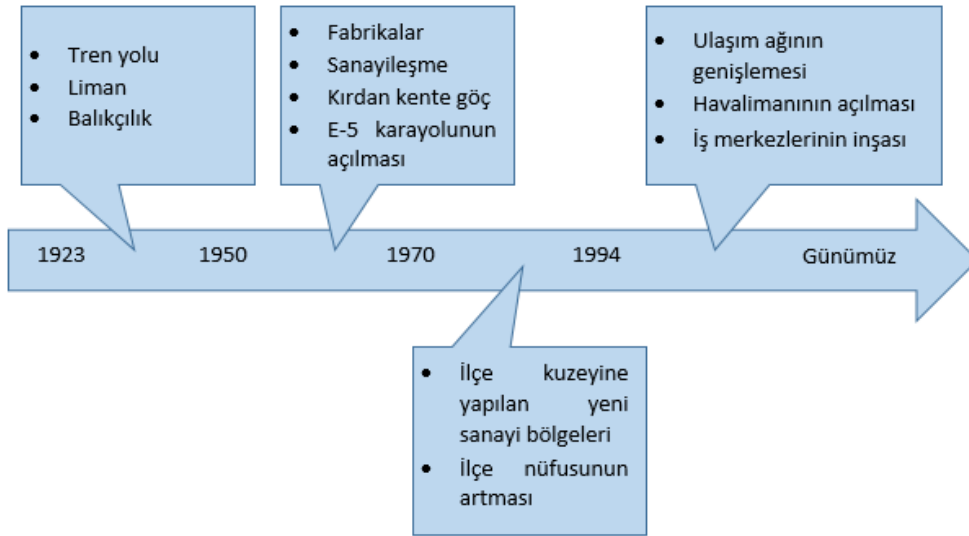
Tablo 1. Kartal’da kurulan büyük sanayi firmaları (Özkan Eren, 2017).

Firma Adı	Faaliyet Alanı	Kuruluş Yılı
Oraltsa (Sabancı Holding)	Çatı Malzemesi	1954
Mutlu Akü	Akümülatör	1955
Eczacıbaşı Vitra	Banyo Malzemeleri	1956
Aksan	Alüminyum	1958
Siemens	Elektrik, elektronik	1961
Birgi San (Mefar)	İlaç	1963
Milangaz	Tüp dolum	1963
Süperlit	Boru	1964
Çelik-dirsek	Çelik boru ve bağlantı elemanları	1968
Törk Makine	Tahta işleme makineleri	1968
Elsel (Elginkan Holding)	Doğalgaz armatürleri	1969
Sunta Tahta	Sunta	1969
Habaş	Sınai tıbbi gaz imalatı	1969
Vatan Plastik	Plastik	1973
Profsan	Demir profil	1975
Muratsan	Sac	1975
Emitaş Makine	Vinç	1976
Assa (Kibar Holding)	Sac	1978

İlçede, sanayileşme ile birlikte yaşanan göç alımı, ilçe nüfusunun artmasına neden olmuş ve 1950 yılında 26.150 olan ilçe nüfusu, 1980 yılına gelindiğinde 413.839 olarak belirtilmiştir (Gökburun, 2017). Bu, ilçe nüfusunun 1950-1980 arasında %1482 oranında artış yaşadığını göstermektedir. Bir başka söylemle ilçe nüfusu yaklaşık 15 kat artmıştır. Benzer yıllarda İstanbul ilinin nüfusunda da artış yaşanmıştır. Fakat bu artış Kartal ilçesinde gerçekleşen artış kadar değildir. 1950 yılında 1.166.477 olan İstanbul nüfusu 1980 yılında 4.741.890 olmuştur. Burada da yaklaşık 4 katı bir nüfusu artışının yaşandığı dile getirilebilir. Dolayısıyla, Kartal ilçesinin ilgili yıllar arasındaki nüfus artışı, sanayileşme ile birlikte bölgeye gelen kırdan kente göçten kaynaklanmaktadır.

**Şekil 6.** Tarihi süreç içerisinde Kartal ilçesinin mekânsal gelişimi (Altay vd., 2010)

İlçenin yıllar içerisindeki mekânsal gelişimini aktaran Şekil 6’da, Cumhuriyetin ilk yıllarında sadece Kartal sahil kesiminde yerleşimin olduğu ve nüfus yoğunluğunun burada toplandığı görülmektedir. Bu yıllarda Haydarpaşa-Pendik banliyö hattının bu güzergâhta olması, Kartal’ın bir sayfiye yeri olarak kullanılması ve balıkçılık ve liman faaliyetlerinin bulunması bu durumu açıklar niteliktedir. Şekil üzerinde 5 numara ile gösterilen ve 1950-1970 yılları arasında Kartal ilçesinin mekânsal gelişimini gösteren bölge ise, fabrikaların kurulması ile sanayileşmenin artması ve bunun sonucunda ilçeye başlayan göç hareketi ile nüfus artışı ve imar gelişimini göstermektedir. Bu yıllardan sonra kırdan kente göçün çok daha büyük boyutlarda yaşanması ile birlikte ilçenin kuzeyine doğru mekânsal olarak genişlediği görülmektedir.



Şekil 7. Kartal ilçesinde kent kimliğini etkileyen etmenler

İlçede 1970'li yıllardan sonra Akçaoğlu Sanayi Sitesi, Çavuşoğlu Sanayi Sitesi ve Siemens, Aksan Metal, Süperlit ve Habaş gibi fabrikalar kurulmuştur. Bu durum sonucunda iş imkânlarının genişlemesi ile birlikte ilçenin kuzey tarafına doğru gecekondulaşma başlamıştır. Buralarda işçi mahalleleri oluşturulmuştur. 1980'li yılların sonundan itibaren ise, İstanbul Anadolu yakasında sahil şeridinin oluşturulması ve deniz dolgu işleminin gerçekleştirilmesi ile birlikte, ilçe sahillerinin rekreasyon çalışmaları başlamıştır (Kentsel Strateji, 2009). Bu durum da ilçe merkezi ve sahil mahallelerinin değerlenmesini sağlamıştır. 2000'li yıllarda Kartal ilçe merkezine 24 km. uzaklıkta bulunan Sabiha Gökçen Havalimanının açılması ile birlikte, bölge hızla gelişmiş, yeni oteller ve iş merkezlerinin yapımı gerçekleştirilmiştir. Tüm bu etmenler Kartal ilçesinin mekânsal gelişimini sağlamıştır.

4.3. Kartal'ın Kent Kimliği ve Kent Kimliğine Etki Eden Faktörler

Kent kimliğine etki eden faktörler fiziksel, sosyal ve yönetsel faktörler şeklinde dile getirilebilir. Fiziksel faktörler olarak dile getirilecek olan unsurlar, iklimsel ve meteorolojik faktörler, jeomorfoloji ve topoğrafya, ekoloji ve bitki örtüsü ile jeolojik yapıdır. İlçede genel itibariyle yazların kurak ve yağışsız, kışların ise soğuk ve yağışlı olduğu Akdeniz iklimi görülmektedir. İlçenin ortalama sıcaklığı 15°C olup, ilçede en yüksek 40°C en düşük ise -9°C sıcaklık görülmüştür. Kış ve sonbahar aylarının bol yağışlı geçmesi, nem oranının yıl boyu ortalamasının yüksek olması (%72), ilçe ikliminin özelliklerindedir (Altay vd., 2009).

İlçe, engebeli bir araziye sahiptir ve yükseklik değeri 1-570 m. arasındadır. İlçe içerisinde akarsu bulunmamakta, sadece mevsimlik küçük dereler oluşmaktadır. İlçenin topoğrafik eğimine bakıldığında, ilçe yüzölçümünün %70'ine tekabül eden ilçe merkezi ve çevresinin %0 ila %15 arasında eğime sahip olduğu, ilçe kuzeyinde bulunan Yakacık Tepesi'nde %15'in üzerinde ve Aydos Tepesi'nde ise %45'e yakın eğim olduğu bilinmektedir (Kartal Merkez Nazım İmar Planı Raporu, 2015).

İlçenin jeoloji ve arazi yapısı açısından 1. derece deprem bölgesinde kaldığı, ilçe kuzeyinin tektonik dokunaklı olan kireçtaşı ile seyrek silttaşı ve kumtaşı ara tabakalı şeyllerden meydana geldiği bilinmektedir. İlçe merkezinde ise değişik kalınlık ve yayılımda olan yamaç molozları bulunmaktadır. Sahil şeridinde ise çok sınırlı olmakla birlikte alüvyonların yayılımı bilinmektedir (Kartal Merkez Nazım İmar Planı Raporu, 2015). İlçenin kent kimliğine etkisi olan etmenlerden bir diğeri sosyal faktörlerdir. 1950'li yıllardan sonra sanayileşmenin artması ile birlikte bölgeye gerçekleşen göç hareketi sonucunda gecekondulaşma artmış ve işçi mahalleleri oluşmaya başlamıştır. İlçede hızlı bir şekilde konut inşaları gerçekleşmiş ve ilçe nüfusu kuzeye doğru genişlemiştir. 1970'li yıllarda Kartal'da yapılanmaya başlamış ve küçük bir balıkçı köyü olan yerleşmenin 15-20 yıl içinde hisselsi ifraz dokusunda büyüyerek yayılmasına neden olmuştur. 1973 yılında Boğaziçi Köprüsü açılmış ve İstanbul'un her iki yakasında ulaşım daha kolay hale gelmiştir. İstanbul'un merkezine yakın olan ve banliyö şeklinde tabir edilen Kartal, Pendik gibi ilçelerde kırdan kente iş bulma amacıyla göç başlaması sonucunda bu alanların nüfusu hızlı bir şekilde artmıştır. Burada, ilçe topraklarının ucuz olması, ulaşım imkânlarının kolaylaşması ile birlikte göçün bu alanlarda yerleşimini sağlamıştır. 1950 yılında İstanbul nüfusunun %47,1'i İstanbul dışında doğanlardan oluşurken, 1980 yılı itibariyle bu oranın %61,8 olduğu bilinmektedir (Murat, 2007: 86). 2021 yılı verilerine göre Kartal

merkezindeki nüfusun %84'ünün nüfus kaydı ise İstanbul dışındadır. Bu veriler, hem İstanbul hem de ilçenin demografik yapısındaki değişimi ve kent kimliğini oluşturan sosyal faktörleri açıklamaktadır.

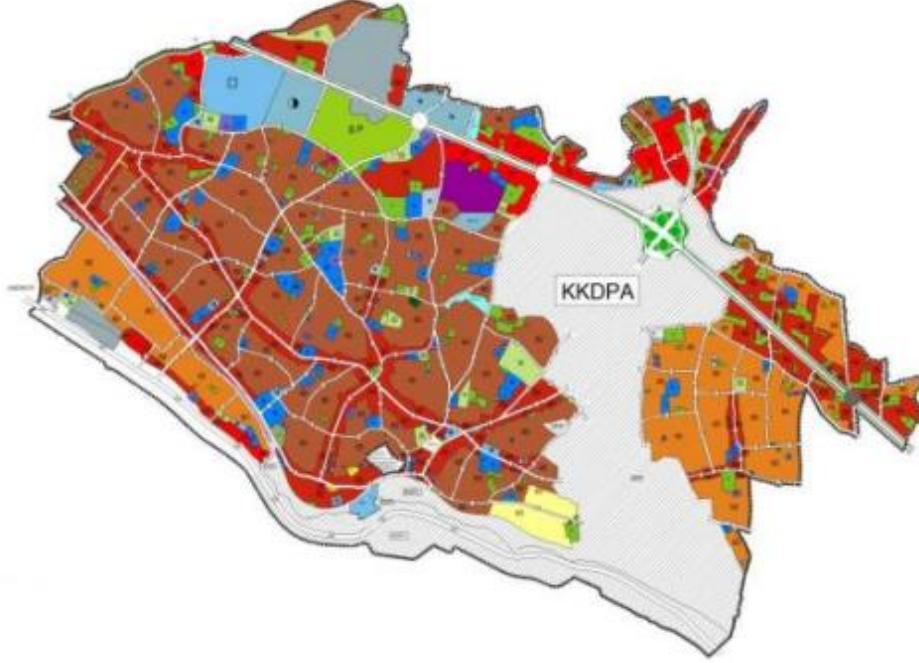
Kartal ilçesi kent kimliğini oluşturan bir diğer etmen ise yönetsel faktörlerdir. Yönetsel faktörler açısından üst ölçekli plan kararları ve alt ölçekli plan kararlarına yer verilmiştir. Üst ölçekli planlardan, 29.07.1980 onaylı 1/50.000 Ölçekli İstanbul Metropolitan Alanı Nazım İmar Planı'nda ilçeyi doğu-batı yönünde kesen E-5 karayolu ve çevresi ile Sanayi Caddesi çevresi (Şekil 6), sanayi kullanım alanı olarak belirtilmiştir. 15.11.1995 onaylı 1/50.000 Ölçekli İstanbul Metropolitan Alan Alt Bölge Nazım İmar Planı'nda ise, planlama alanındaki sanayi bölgesinin, sanayiden hizmete dönüştürülecek alanlar şeklinde belirtildiği görülmektedir. 22.08.2006 onaylı 1/100.000 ölçekli İstanbul İl Çevre Düzeni Planı ve meri 15.06.2009 onaylı 1/100.000 ölçekli İstanbul Çevre Düzeni Planı'nda ise "Birinci Derece Merkez Alanı" olarak belirlenmiştir. Burada dikkat çeken bir diğer husus ise merkezin desantralizasyonudur. İlgili plan içerisinde bu durum, sanayi yerleşimlerinin, merkezi alana dönüşümünün sağlanması gerektiği yönünde ifade edilmiştir. Bunun gerekçesi olarak ise ilgili planda, bölgenin, deniz, hava ve karayolu ulaşımı ağı üzerinde olması ve çevre il ve ilçelere yönelik işgücü dengesini sağlayabileceği, iş merkezlerinin yerleşimi için avantajlı bir bölge olması, dile getirilmiştir. Planın devamında, Kartal ilçesi, birinci derece merkez alanı olarak belirtilmiş ve işgücü ve ulaşım dengesini sağlayan, ticaret, turizm, konut, kültür, yönetim ve rekreasyon alan ve kullanımlarının yer alacağı güçlü bir merkez ihtiyacına cevap vereceği belirtilmiştir (Kartal Merkez Nazım İmar Planı Raporu, 2015). 1/100.000 Çevre Düzeni Planı kararları doğrultusunda oluşturulan 1/25.000 ölçekli Nazım İmar Planı'nda ise, Kartal, üst düzey merkez ve özel proje alanı olarak tanımlanmıştır. Bu kararın alınmasına gerekçe olarak, Sabiha Gökçen Havalimanı, deniz ulaşımı, demiryolu ulaşımı ve karayolu ulaşımı açısından imkânlarla sahip olması ve Gebze Sanayi Bölgesi gibi büyük sanayi alanlarına yakınlığının olması belirtilmiştir.



Şekil 8. Kartal sanayi alanları (Sönmez, 2018)

Alt ölçekli planlar incelendiğinde, üst ölçekli planlara paralel bir şekilde E-5 karayolu ve çevresi ile Sanayi Caddesi ve çevresi 07.05.1971 onaylı 1/5000 ölçekli Kartal Nazım İmar Planı ve 25.02.1972 onaylı 1/1000 ölçekli Kartal Uygulama İmar Planı, 01.09.1976 onay tarihli 1/1000 Yakacak Uygulama Nazım İmar Planı ve 15.12.1981 onay tarihli 1/1000 Soğanlık Uygulama Nazım İmar Planı ve yine aynı onay tarihli 1/5000 Soğanlık Nazım İmar Planı'nda, sanayi alanı olarak ifade edilmiştir. 03.06.1991 onaylı 1/5000 ve 1/1000 ölçekli D-100 Karayolu-Deniz Bağlantı Yolu Civarının Konut + Ticaret ve Hizmet Alanlarına Dönüştürülmesini Amaçlayan Plan Değişikliği (Sanayi Alanı Tasfiye Planı) çerçevesinde ise, kuzey-güney koridorundaki sanayi alanının tasfiyesi yönünde karar alınmıştır. 12.03.2003 onaylı 1/5000 ölçekli Kartal II. Derece Alt Merkez Nazım İmar Planı'nda ise, ilgili alanların tasfiyesi ile birlikte ticaret, hizmet ve kültür alanlarına dönüşümü dile getirilmiştir. Fakat bu karar daha sonra İstanbul 2. İdare Mahkemesi'nin 28.02.2006 gün ve EN:2003/1324 KN:2006/380 sayılı kararıyla iptal edilmiştir.

23.06.2005 onaylı 1/5000 ölçekli Kartal Güneyi Nazım İmar Planı ve bu plan doğrultusunda hazırlanan 19.09.2006 onaylı 1/1000 ölçekli Kartal Güneyi Uygulama İmar Planı'nda, planlama alanı "Kartal Kentsel Dönüşüm Proje Alanı (KKDPA)" olarak düzenlenmiştir. Proje alanının içi boş bırakılarak, söz konusu alanda konut, ticaret, hizmet, spor, eğitim, sağlık, turizm, rekreasyon ve diğer sosyal ve teknik donatı alanlarının yer alabileceği öngörülmüştür (Şekil 9).



Şekil 9. 23.06.2005 Onaylı 1/5000 Ölçekli Kartal Güneyi Nazım İmar Plan

23.06.2008 onaylı 1/5000 ölçekli Kartal Merkez Nazım İmar Planı ile planlama alanı alt merkez olarak "karma kullanım" kararı alınmıştır. 18.12.2009 onaylı 1/5000 ölçekli Kartal Merkez Nazım İmar Planda (revizyon), bir önceki plana yapılan itirazlar ve katılımcı planlama çalışmaları değerlendirilerek revizyonlar yapılmış, ana ulaşım aksları ve alan genelinin karma kullanımlara konu olması kararı baki kalmak suretiyle, donatı alanlarının yerleri belirlenmiştir. 03.06.2011 onaylı 1/5000 ölçekli ulaşım aksları ile ilgili detaylı çalışmalarını içeren Kartal Merkez Nazım İmar Planı bir önceki plana yapılan itirazlar değerlendirilerek revize edilmiştir.

5. SONUÇLAR

Kartal ilçesi, 6. yüzyıla kadar giden tarihi ile birlikte eski bir yerleşim merkezidir. İlçe, Bizans, Osmanlı ve Cumhuriyetin ilk yıllarında daha çok tarım ve balıkçılığın yapıldığı bir bölgedir. Ayrıca bölgede bulunan liman, ilçenin ekonomik, sosyal ve kültürel alanına etki etmiştir. 19. yüzyılda Haydarpaşa-Pendik banliyö hattının ve ilçe merkezinde tren istasyonunun yapılmasıyla birlikte ulaşım imkânları açısından artı değer kazanmış ve yerleşim genişlemiştir.

Kartal'ın tarihi çekirdeği olarak dile getirilen ilçe merkezinde bulunan tren istasyonu ve liman aynı zamanda kent kimliğinin oluşmasında bir etmendir. Bununla birlikte Marmara Denizi'ne kıyısının bulunması deniz taşımacılığı ve ulaşımı açısından önemlidir. Tarihi süreç içerisinde Kartal'ın kent kimliğini değiştiren ve kentsel dönüşümü içeren etmenler ve olaylar aşağıda maddelenerek aktarılmıştır.

- İlçe 1950'li yıllara kadar, balıkçılık, bahçe ve bostancılık alanında gelişmiş ve İstanbul'un sebze ve meyve ihtiyacını karşılamıştır. 1950'li yıllardan sonra ilçede kurulan fabrikalar ile birlikte sanayileşme artmıştır. Bu yıllarda ilçenin Karlıktepe, Petrol-İş, Çavuşoğlu, Esentepe ve Topselvi mahallelerinde sanayi bölgelerinin oluşturulmasıyla birlikte göç alan bir konuma gelmiştir.
- 1950-1980 yılları arasında ilçenin sanayi bölgeleri olarak dile getirilen mahallelerinde 18 büyük fabrika kurulmuştur.
- 1950'li yılların ikinci yarısından sonra ilçeyi doğu-batı ekseninde kesen E-5 karayolunun açılması ve 1973 yılında Boğaziçi Köprüsü'nün tamamlanması ile birlikte ulaşım alanında da merkez konuma

gelmiştir. Daha önceleri demir ve deniz yolu ulaşımının olduğu bölgede karayolu açısından da gelişmenin sağlanması ile İstanbul'un iş merkezlerine ulaşım kolaylığı sağlanmıştır. Bu dönemde ilçe yukarıda belirtilen etmenler nedeniyle yoğun göç almıştır. İş imkânlarının yüksek olması, bu nedenlerin en başında gelmektedir.

- İlçe içerisinde kent planlaması dâhilinde oluşturulan sanayi bölgeleri ile birlikte nüfus artışı yaşanmıştır. 1950-1980 arasında Kartal ilçesinin nüfusu yaklaşık 15 kat artarak 26.150'den 413.839'a yükselmiştir. Bu durum, ilçede yerleşim alanlarının kuzey yönünde genişlemesine ve gecekondulaşma gibi illegal imaretin gerçekleşmesine de neden olmuştur. Bunun sonucunda ise ilçede işçi mahalleleri doğal yollardan oluşmuş ve ilçe demografisinde değişimler meydana gelmiştir. Bu durum aynı zamanda kent kimliğinin de farklılaşmasına yol açmıştır.
- 1980'li yıllardan sonra gerek üst ölçekli gerek alt ölçekli planlarda, daha önceden belirtilmiş olan sanayi bölgeleri tasfiye edilmek istenmiştir. İstanbul Metropolitan Alan Planı'nda belirtildiği üzere, sanayi alanlarının iş merkezlerine dönüştürülmesi planlanmıştır. Bu durum, sanayi bölgelerine yakın olan Esentepe, Çavuşoğlu ve Karlıktepe mahallelerinde emlak fiyatlarının artmasına neden olmuş ve bölgedeki işçi aileleri E-5 üzerinde bulunan Cumhuriyet ve Hürriyet mahallelerine taşınmışlardır.
- 2000'li yılların başında bölgede açılan Sabiha Gökçen Havalimanı ile birlikte bölgenin, kültür, hizmet, ticaret merkezi haline getirilmesi planlanmıştır. Nitekim, sanayi bölgelerine yakın alanlarda iş merkezleri, otel ve ticaret alanları ile birlikte rezidans şeklinde lüks konutların inşası gerçekleşmiştir. Bu durum Kartal ilçesinin kent kimliğinde değişime neden olmuştur.

İncelenen alan özelinde Kartal ilçesi için sürdürülebilir kentler kapsamında çok merkezli makroformların geliştirilmesi gerekmektedir. Bununla birlikte, yapılacak kentsel dönüşümlerin, kentin kimliği ve sosyal dokusu ile birlikte büyük bir kültürel zenginliği içinde barındırması, Kartal'ın özgün kimliğini oluşturan meydan, çarşı ve mahalle yapısının korunması, planlama çalışmalarında tüm paydaşların sürece dâhil edilmesi gerektiği dile getirilebilir. Ayrıca ilçedeki tren istasyonu, Şifa Hamamı, Maarif Sultan Cami, Surp Nişan Ermeni Kilisesi ve Kartal meydanının, kent çekirdeğini oluşturması nedeniyle korunması ve oluşturulacak planlarda bu hususlara dikkat edilmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- Altay, V., Özyiğit, İ. İ. & Yarci, C. (2010). Urban flora and ecological characteristics of the Kartal district (Istanbul): A contribution to Urban ecology in Turkey. *Scientific Research and Essays*, 5(2), 183-200.
- Ataöv, A. & Osmay, S. (2007). Türkiye’de kentsel dönüşüme yöntemsel bir yaklaşım, Ankara. ODTÜ Mimarlık Fakültesi Dergisi, 24(2), 57-82.
- Atkinson, R. (2004) Housingled regeneration, partnership and community participation lessons from England, Küçükçekmece Kentsel Dönüşüm Sempozyumu Bildirileri Kitabı. İstanbul, Küçükçekmece Belediyesi Yayınları.
- Döker, M. F. (2012). İstanbul kentsel büyüme sürecinin belirlenmesi, izlenmesi ve modellenmesi. [Doktora Tezi], İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Gökburun, İ. (2017). İstanbul’da nüfusun gelişimi ve ilçelere dağılımı (1950-2015). *Anadolu Kültürel Araştırmalar Dergisi*, 1(3), 91-111.
- İslam T. & Behar D. (2006) İstanbul’da soylulaştırma: Eski kentin yeni sakinleri. İstanbul Bilgi Üniversitesi Yayınları, İstanbul.
- Keleş, R. (2004). Kentsel dönüşümün tüzel yapısı. Mimarist Yayınları, İstanbul.
- Kocabaş, A. (2006). Kentsel dönüşüm (Yenileş(tir)me): İngiltere deneyimi ve Türkiye’deki beklentiler. Literatür Yayıncılık, İstanbul.
- Kültür Bakanlığı ve Tarih Vakfı, (1994). Düünden bugüne İstanbul ansiklopedisi-Cilt 4, Kültür Bakanlığı Yayınları, Ankara.
- Lallı, M. (1988). Urban identity. D. Carter, J. Jesuino, L. Soczka, & G. Stephenson (Ed.), *Environmental social psychology* (s. 303-312). Kluwer Academic Publishers, London.
- Lynch, K. (1984). *Good city form*. Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts, USA.
- Murat, S. (2007). Doğum yerlerine göre İstanbul nüfusu ve iç göçler. *Sosyal Siyaset Konferansları Dergisi*, 53, 83-140.
- Oktay, D. (2011). Kent kimliğine bütüncül bir bakış. *İdealkent*, 2(3), 8-19.
- Özkan Eren, M. (2017). 2000-2017 yılları arasında Türkiye’de kentsel dönüşüm siyaseti; Kartal sanayi alanı dönüşümü vakası [Doktora Tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Proshansky, H., Fabian, A. & Kaminoff, R. (1983). Place identity: Physical world socialization of the self. *Journal of Environmental Psychology*, 3, 57-83.
- Relph, E. (1976). *Place and placelessness*. Pion Limited, London. Roberts, P. (2000). *The evolution, definition and purpose of urban regeneration*. Sage Publications, London.
- Roberts, P. & Sykes, H. (2000). *Urban regeneration a handbook*. Sage Publications, London.
- Rossi, A. (1984). *The architecture of the city*. MIT Press, New York, USA.
- Sönmez, Ö. (2018). İstanbul metropolitan alan planlamasında uygulama güçlükleri: Kartal dönüşüm projesi deneyimi. *Megaron*, 13(3), 407-421.
- Suri, L. (1984). Kırsal toprakların kentsel topraklara dönüşümü İstanbul ve Kartal Örneği [Yüksek Lisans Tezi]. Yıldız Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Tekeli, D. (2001). *Modernite aşılırken kent planlaması*. İmge Kitabevi, İstanbul.
- Tekeli, İ. (1991). *Kent planlaması konuşmaları*. TMMOB Mimarlar Odası Yayınları, Ankara.

TEŞEKKÜR ve BEYANLAR / ACKNOWLEDGEMENT and DECLARATIONS

"1. yazar %60 oranında, 2. yazar %40 oranında katkı sağlamıştır."

"Bu çalışmada herhangi bir potansiyel çıkar çatışması bulunmamaktadır."

***Not:** Bu makale, İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi Tezli Yüksek Lisans Programı'nda, Doç.Dr. Leyla SURİ danışmanlığında, Tülin ATAKAN tarafından yürütülecek olan, "Kentsel Dönüşümün Kartal İlçesindeki Etkisi" başlıklı yüksek lisans tezinin ön çalışmalarından yararlanılarak hazırlanmıştır.*

ISSN: 2645-8969

**Teknoloji
ve
Uygulamalı Bilimler
Dergisi**