

JOURNAL OF ICIVILTECH

INNOVATIONS IN CIVIL ENGINEERING AND TECHNOLOGY

YEAR: **2025** VOLUME: **7** ISSUE: **1**

EARTHQUAKE **ENGINEERING**

BUILDING MATERIALS **ENGINEERING**

CONSTRUCTION MANAGEMENT **ENGINEERING**

TRANSPORTATION **ENGINEERING**

STRUCTURAL **ENGINEERING**

GEOTECHNICAL **ENGINEERING**

e-ISSN: 2687-2129

HYDRAULIC AND WATER RESOURCES **ENGINEERING**

Journal of Innovations in Civil Engineering and Technology

(JICIVILTECH)

2025, Volume 7, Issue 1

The Journal Information

Publisher: Hüseyin AKBULUT

Editor-in-Chief: Hüseyin AKBULUT

Editors: Cahit GÜNER

Field Editor: Murat HİÇYILMAZ

Secretary of Publication: Ayfer ELMACI, Burak Enis KORKMAZ, Şule YARCI

Access: Open Access

Language of Publication: English and Turkish

Publication Frequency: Twice a year (in December and June)

Type of Publication: Peer-reviewed and periodical

e-ISSN: 2687-2129

Telephone: +90 272 2182 30 00 (2324)

E-mail: j.civiltech@gmail.com

Webpage: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/jiciviltech>

Correspondence Address: Afyon Kocatepe University, Engineering Faculty, Civil Engineering Department, Ahmet Necdet Sezer Campus, 03200, Afyonkarahisar, TURKEY.

Advisory Board of the 1st Issue

Reviewer List of the 1st Issue

Ahmet Raif BOĞA, *Afyon Kocatepe University, Turkey*
Ahmet YILDIZ, *Afyon Kocatepe University, Turkey*
Alan WOODSIDE, *Brunel University, United Kingdom*
Bojan ZLENDER, *University of Maribor, Slovenia*
Dunja PERIC, *Kansas State University, United States*
Erol TUTUMLUER, *University Of Illinois At Urbana-Champaign, United States*
Gözde KIRLI ÖZER, *Bursa Uludağ University, Turkey*
Hasan ÖZKAYNAK, *İstanbul Beykent University, Turkey*
Hashem R. AL-MASAEID, *Jordan University of Science and Technology, Jordan*
Hüseyin Yılmaz ARUNTAŞ, *Gazi University, Turkey*
Imad L. AL-QADI, *University Of Illinois At Urbana-Champaign, United States*
Iqbal KHAN, *King Saud University, Saudi Arabia*
Ivanka NETINGER GRUBEŠA, *University of Osijek, Croatia*
İlhami DEMİR, *Kırıkkale University, Turkey*
İsmail DEMİR, *Afyon Kocatepe University, Turkey*
João Pedro SILVA, *Polytechnic Institute of Leiria, Portugal*
Masayasu OHTSU, *Kyoto University, Japan*
Mehmet SALTAN, *Süleyman Demirel University, Turkey*
Mujib RAHMAN, *Brunel University, United Kingdom*
Murat KANKAL, *Uludağ University, Turkey*
Paula FOLINO, *University of Buenos Aires, Argentina*
Roumiana ZAHARIEVA, *University of Architecture, Bulgaria*
Serdal TERZİ, *Süleyman Demirel University, Turkey*
Sri Atmaja P. ROSYIDI, *Muhammadiyah University of Yogyakarta, Indonesia*
Şerife Ebru OKUYUCU, *Afyon Kocatepe University, Turkey*
Tamer BAYBURA, *Afyon Kocatepe University, Turkey*
Veli BAŞARAN, *Afyon Kocatepe University, Turkey*

Ahmet TORTUM, *Atatürk University, Türkiye*
Figen Kıvılcım ÇORAKBAŞ, *Bursa Uludağ University, Türkiye*
Hatice ÇITAKOĞLU, *Erciyes University, Türkiye*
Kemal SAPLIOĞLU, *Süleyman Demirel University, Türkiye*
Lale Atılğan GEVREK, *Yozgat Bozok University, Türkiye*
Meltem SAPLIOĞLU, *Süleyman Demirel University, Türkiye*
Metin Mutlu AYDIN, *Ondokuz Mayıs University, Türkiye*
Murat KANKAL, *Bursa Uludağ University, Türkiye*
Mustafa TUNÇ, *Fırat University, Türkiye*
Oruç ALTINTAŞI, *İzmir Katip Çelebi University, Türkiye*
Osman AYTEKİN, *Eskişehir Osmangazi University, Türkiye*
Saadet GÜNDOĞDU, *Samsun University, Türkiye*
Şerife AK, *Afyon Kocatepe University, Türkiye*
Tuba KÜTÜK, *Recep Tayyip Erdoğan University, Türkiye*
Veysi KARTAL, *Siirt University, Türkiye*
Yılmaz Öğünç TETİK, *Muğla Sıtkı Kocman University, Türkiye*

Contents / İçindekiler

Articles / Makaleler	Sayfa
Hümeyra BOLAKAR TOSUN Increasing Number of Vehicles and Traffic Accidents in Turkey: Current Situation and Future Predictions <i>Türkiye’de Artan Araç Sayısı ve Trafik Kazaları: Mevcut Durum ve Geleceğe Dair Tahminler</i>	1-9
Ramazan ACAR Su Kalitesi Parametreleri için Mann-Kendall ve Yenilikçi Trend Yöntemlerinin Karşılaştırılması <i>Comparison of Mann-Kendall and Innovative Trend Method for Water Quality Parameters</i>	11-27
Ayşe ÖZTAŞ, Aziz Uğur TONA, Vahdettin DEMİR, Mehmet EREN Uydu Görüntüleri Yardımıyla Burdur Gölü’nün Su Seviyesi Değişiminin Farklı Su İndeksleriyle Analizi ve Gelecek Yıllardaki Değişiminin Tahmini <i>Analysis of the Water Level Change in Lake Burdur Using Satellite Images with Different Water Indices and Prediction of Future Changes</i>	29-48
Ergi KAHRAMAN, Savaş BAYRAM Advancing BIM Processes for Composite Structural Systems: A Case Study of an Incubation Center in Türkiye <i>Kompozit Yapısal Sistemler için BIM Süreçlerinin Geliştirilmesi: Türkiye’deki Bir Kuluçka Merkezi Örneği</i>	49-69
Meltem SAPLIOĞLU, Ayşe ÜNAL Sağlık Tesislerinde Ambulans Trafiği Yönetimi ve Trafik Güvenliği için Sürdürülebilir Çözümler <i>Sustainable Solutions for Ambulance Traffic Management and Traffic Safety in Healthcare Facilities</i>	71-91
Burcu Funda AYBERKİN, Tuğba Erdil DİNÇEL From Via Militaris to Ottoman Times: A Brief History and A Restoration Proposal for the Büyükkarıştıran Bridge <i>Via Militaris’ten Osmanlı Dönemine: Büyükkarıştıran Köprüsü İçin Kısa Bir Tarihçe ve Restorasyon Önerisi</i>	93-115
Mehmet Can GÜVEN, Oruç ALTINTAŞI, Ziya ÇAKICI Evaluation of the Location and Accessibility of Parking Lots using GIS-Based Analyses <i>Kent İçi Otopark Alanlarının CBS Tabanlı Analizlerle Konumu ve Erişilebilirliğinin Değerlendirilmesi</i>	117-130

Research Article

Increasing Number of Vehicles and Traffic Accidents in Turkey: Current Situation and Future Predictions

*¹Hümeýra BOLAKAR TOSUN

¹Aksaray University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Aksaray, Turkey
bolakarhumeýra@gmail.com, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-6710-2277>

Received: 10.06.2024;

Accepted: 30.09.2024

Abstract

Statistics on road safety and traffic accidents show that the increasing number of vehicles causes a significant increase in the number of accidents. As a result of urbanization and population growth, the number of vehicles using the roads is increasing rapidly. This increase increases traffic congestion and therefore the risk of accidents, especially in big cities and heavy traffic areas. This study aims to comprehensively examine the effects of vehicle excess on traffic accidents and make predictions on possible future scenarios. Within the scope of the study, existing traffic data will be analyzed and changes in accident rates will be evaluated as the number of vehicles increases.

Keywords: *Traffic Accident, Prediction, Vehicle Rates, Exponential Smoothing Method, Holt-Winters*

*¹Corresponding author

To cite this article

Bolakar Tosun, H. (2025). Increasing Number of Vehicles and Traffic Accidents in Turkey: Current Situation and Future Predictions. *Journal of Innovations in Civil Engineering and Technology (JICIVILTECH)*, 7(1), 1-9. <https://doi.org/10.60093/jiciviltech.1499154>

Türkiye’de Artan Araç Sayısı ve Trafik Kazaları: Mevcut Durum ve Geleceğe Dair Tahminler

Öz

Yol güvenliği ve trafik kazaları konusundaki istatistikler, artan araç sayısının kaza sayılarında belirgin bir artışa neden olduğunu göstermektedir. Şehirleşmenin ve nüfus artışının sonucu olarak, yolları kullanan araç sayısı hızla artmaktadır. Bu artış, özellikle büyük şehirlerde ve yoğun trafik bölgelerinde trafik sıkışıklığını ve dolayısıyla kaza riskini artırmaktadır. Bu çalışma, araç fazlalığının trafik kazalarına olan etkilerini kapsamlı bir şekilde inceleyerek, gelecekte olası senaryolar üzerine tahminlerde bulunmayı amaçlamaktadır. Çalışma kapsamında, mevcut trafik verileri analiz edilerek, araç sayısının artmasıyla birlikte kaza oranlarındaki değişimler değerlendirilecektir.

Anahtar kelimeler: Trafik Kazası, Tahmin, Araç Oranları, Üstel Düzeltme Yöntemleri, Holt-Winters

1. Introduction

In recent years, the significant development of technology has increased the quality of life depending on positive developments such as the increase in the transportation level, transportation demand has increased. With all these developments, the efficiency and number of transportation networks are also a natural consequence of increasing comfort demands. The number of vehicles increasing day by day increases the traffic density on the highways (Parsa et al., 2020). In parallel with this situation, traffic in many countries. The increase in accidents poses a serious problem (Deb & Liew, 2016). The number of vehicles and usage rates have also increased. In traffic density due to not being adequately prepared for this increase and not being able to take precautions. Therefore, an increase in accidents has been observed. The World Health Organization in 2010 According to the statistics published by the world, an average of 1,240,000 people are trafficked every year and die in accidents. Damage caused by traffic accidents reaches an average of \$518 billion annually (Karayolları Trafik Kanunu, 1983; World Health Organization, 2013).

In recent years, the significant development of technology has increased the quality of life depending on positive developments such as the traffic problem, which has become the biggest problem in our country. Also it compares favorably with other countries in terms of death rates in traffic accidents. Traffic accident occurred

while on the highway and in motion; one or more vehicles. It is an incident that resulted in death, injury, and material damage (KGM). Traffic accidents There is a direct proportion of the increase in the number of accidents to increasing and developing roads and vehicles. Considering the accidents in our country, to ensure traffic safety, traffic the causes of accidents should be carefully identified. Number of vehicles, number of drivers and in direct proportion to the increase in population, there was an increase in road traffic accidents between 1980 and 2000. A continuous increase is observed (Erdoğan, 2006; Türkiye Makina Mühendisleri Odası, 2016). Accident analysis should be used more in detecting problems in Turkish traffic. Analyzing these accidents has many benefits for the country. It is thought that considering it would be beneficial. First of all, the factors that caused the accident traffic accident analyses should be carried out and the real causes of accidents should be determined and the necessary work should be done to prevent these detected problems. Accident analysis is to be carried out in detail and according to different reasons, without wasting time in preventing accidents and taking corrective actions. It is thought that it would be beneficial to identify the information needed (Öztürk, 2013). The causes of traffic accidents or the defects that cause accidents are very diverse. Defects general aspect; driver faults, pedestrian faults, passenger faults, vehicle faults, and road faults it can be counted as (Fallon et al., 2005). It was mentioned that the driver, pedestrian, or vehicle

must be harmed in a traffic accident. On the other hand, participants participating in highway traffic damage as a result of traffic accidents are among the factors that cause accidents. Apart from these, the type of transportation itself may also be due to the geometric structure of the highway.

Especially in cities with high populations, many different activities interact with each other. They are very lively settlements. Home, workplaces, shopping malls, education, and travel demand between entertainment venues constitutes city traffic. This is the journey of the excess supply and demand between the producing and traveling regions leads to an increase in city traffic. It leads to the increase in automobile ownership increases the use of private vehicles. As a result, city traffic becomes inconvenient, especially in big cities. Trips made at peak hours due to congestion effects as a result of increased traffic people using private vehicles, shuttles, and buses increase their travel time. Construction on the road infrastructure of cities despite large investments, traffic congestion and, as a result, congestion increases further is becoming. When these increasing vehicle numbers combine with an unplanned transportation network, inevitable traffic accidents occur. Traffic congestion is a common problem in cities and areas with busy roads and significantly affects the likelihood of traffic accidents occurring. The impact of traffic congestion on crashes has a complex relationship with many factors, and these effects are shaped by variables such as traffic congestion, speed, driver

behavior, and road design. The effects of the increasing number of vehicles in traffic on accidents can be listed as follows:

- Failure to Comply with Traffic Rules:

Heavy traffic can cause drivers to violate traffic rules. Especially when approaching traffic lights, impatient drivers may commit red light violations. Finding parking in busy areas can be difficult, leading to improper parking and resulting accidents.

Intensive use of highways brings accidents. Traffic accidents often result in death and injury. Increasing the transportation network on highways it also increases the number of accidents for the safety of passengers and cargo carried on highways.

It is necessary to reduce the number of accidents. To reduce the number of accidents that cause accidents. It is necessary to minimize the effects of these factors. In what proportion do the factors causing accidents depend on the number of vehicles, number of drivers, population, and travel destinations? Determining whether it depends on the vehicle mileage is important in reducing the risk of accidents. Also, this if it is known to what extent the factors affect the number of accidents, the number of accidents that will occur can be predicted and transportation policies can be developed accordingly. The objectives of the study are:

- Analyzing the relationship between number of car and accident rates
- To determine the effects of the increase in the number of vehicles on accident frequency and severity, using existing traffic data.
- Predicting future scenarios: Making predictions about how traffic accidents will follow in the future
- To develop policy recommendations, to develop strategies and policies to reduce traffic accidents, and to offer suggestions in the fields of urban planning and traffic management in this context
- This research will be an important reference point for measures to be taken and policies to be developed to reduce traffic accidents.

2. Materials and Methods

SPSS 21.0 software was used to analyze the data. Exponential smoothing methods were utilized to predict traffic accident data in 2025. This time series method is widely preferred due to its clarity and transparency. Series that have variables that vary depending on time and can be explained by more than one regression curve because they do not have the return to a regression curve or line are called series with a stochastic tendency (Yağımlı & Ergin, 2017). Holt-Winters exponential smoothing model can be applied when both trend and seasonality are present, with the two components being either additive or

multiplicative. Winters additive and multiplicative models was extremely high and both additive and multiplicative models. Time series data often includes periodic changes (seasonality) and long-term trends (trend). The Holt-Winters method allows making accurate predictions by analyzing these two components separately. The Holt-Winters method is an extension of the simple and double exponential smoothing methods. The simple smoothing only takes into account changes in level, while the double exponential smoothing takes the trend into account. The Holt-Winters method provides more complex and more accurate forecasts by modeling both trend and seasonality. Also this method is successful not only in short-term but also in long-term predictions because it identifies seasonal patterns in time series. The Holt-Winters method can quickly adapt to possible changes in the time series. (Djakaria & Saleh, 2021; Konarasinghe, 2021a).

After more than 50 years of widespread use, the exponential smoothing method is still one of the most practically used forecasting methods (Goodwin, 2010). Being the most used method.

The most important reasons are; The method is clear, understandable, transparent and has the ability to adapt to many different situations. error, tendency and seasonality variables are the three basic components of this method (Hyndman & Athanasopoulos, 2013) The working principle of the method is based on very old observations or recently obtained data depending on the impact of the data and

observations are more important (Bergmeir et al., 2016). Accordingly, exponential the smoothing method uses predominantly moving average data that decays exponentially. The basic idea behind exponential smoothing is to enhance the modeling of various components such as seasonal changes, trends, and long-term changes in a series, along with detecting recurring components and forecasting over periods. These components cannot be determined by other means. The method combines the duration and growth of the current condition.

For the study conducted using annual data from 2012 to 2023 (without seasonal data), the Holt-Winters exponential smoothing method for non-seasonal data with two parameters was utilized. This method is suitable for series with a linear time trend and no seasonal variation.

3. Results

Table 1 includes traffic accident data between 2012 and 2023. According to the data in Table 1, the number of traffic accidents follows a fluctuating trend between 2012 and 2023 (Figure 1). These results show a general increase trend in traffic accidents over the last 11 years. Figure 1 shows the view of the number of traffic accidents between 2012 and 2023.

Table 2 shows the data on the number of vehicles per capita between 2012 and 2012.

Table 1. Traffic accident data (2012-2023).

Year	Number of traffic accident
2012	1.296.634
2013	1.207.354
2014	1.199.010
2015	1.313.359
2016	1.400.491
2017	1.450.716
2018	1.500.364
2019	1.900.144
2020	1.983.808
2021	2.050.353
2022	2.100.957
2023	2.200.071

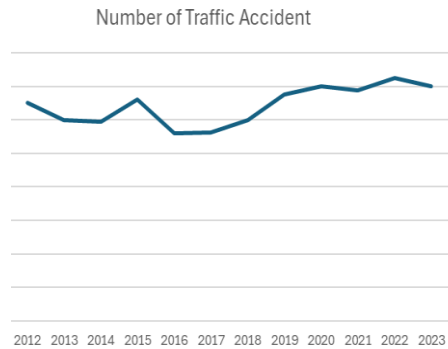


Figure 1. The course of the number of traffic accidents (2012-2023).

When the number of vehicles per thousand people in Table 2 is examined, it is seen that there is a continuous increase in the number of vehicles per thousand people between 2012 and 2023 (Figure 2). Compared to the starting year of 2012, there is a 49.3% increase in the number of vehicles per thousand people in 2023. These results show an increasing trend in the number of vehicles per thousand people in the last 11 years. Figure 2 shows the trend of the number of vehicles per thousand people between 2012 and 2023.

Table 2. Number of vehicles per capita (2012-2023).

Year	Number of Vehicles per Thousand People
2012	225
2013	234
2014	242
2015	254
2016	264
2017	275
2018	279
2019	278
2020	289
2021	298
2022	311
2023	336

Table 3 shows the 2023-2025 forecast results for the number of traffic accidents and the number of vehicles per thousand people. The non-seasonal Holt-Winters (No Seasonal) method was used as the forecasting method.

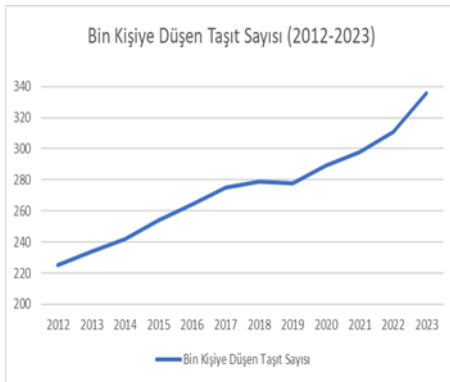


Figure 2. The course of the number of vehicles per thousand people (2012-2023).

When the prediction results for the number of traffic accidents in Figure 3 are examined according to the Holt-Winters correction, it is seen that the

number of traffic accidents will reach 2.310.952 in 2026.

Table 3. Estimation results of traffic accidents and number of vehicles per thousand people.

Forecast year	Number of traffic accident	Number of Vehicles per Thousand People
2024	2.253.957	354
2025	2.295.602	371
2026	2.310.952	397
2023-2026 change (%)		18,15

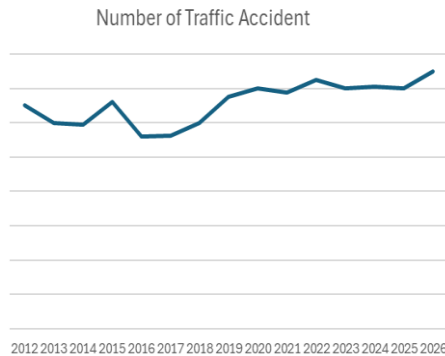


Figure 3. The course of the number of traffic accidents with 2024-2026 forecast results.

When the prediction results for the number of vehicles per thousand people in Figure 4 are examined according to the Holt-Winters correction, the number of vehicles per thousand people will reach 397 in 2026, and when compared to the 2023 data (336), this change is approximately 18%. It is seen that it represents an increase.

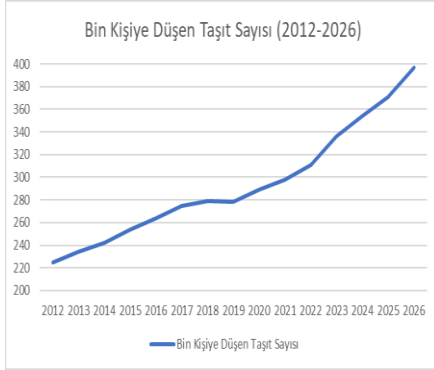


Figure 4. The course of the number of vehicles per thousand people with 2024-2026 forecast results.

4. Discussion and Conclusion

To address urban transportation issues such as accidents, inefficiency, and congestion, it is imperative to establish a safe, fast, and accessible transportation system. This necessitates comprehensive planning and coordination of various transportation elements within big cities. Developed countries prioritize urban transportation to facilitate movement within and between regions and central business areas. The increasing time spent in vehicles and traffic congestion negatively impacts the economy and people's well-being. Therefore, it is crucial to carefully select transportation modes that prioritize people's needs, are suitable for the region's topography, and are environmentally friendly and safe. Precautions to be taken to reduce accidents can be listed as follows:

- **Traffic Management Systems:** Smart traffic management systems can monitor traffic density and direct traffic more effectively and reduce congestion.

- **Infrastructure Improvements:** Increasing road capacity, building new roads and improving existing roads can reduce traffic congestion.
- **Public Transport Incentive:** Improving and encouraging public transport systems can reduce traffic density by reducing individual vehicle use.
- **Driver Training:** Stress management and attention-enhancing training for drivers can help them drive safer in heavy traffic.

The relationship between traffic density and traffic accidents is complex and multifaceted. However, with effective traffic management, appropriate infrastructure and social awareness, the negative effects arising from this relationship can be reduced and a safer transportation environment can be provided.

As a result, the increasing number of vehicles increases the frequency and severity of traffic accidents. This situation becomes especially evident in city centers and necessitates the implementation of various traffic safety measures. These implemented measures play an important role in reducing accidents and accident-related injuries. However, continuous improvements and innovative approaches are required to minimize traffic accidents. In line with the scope of the study, data on other factors that cause traffic accidents (driver training, road geometry features, speed restrictions and traffic management systems) may be limited.

However, the study may shed light on future studies, especially a more comprehensive analysis that includes the effects of driver training and road geometry.

More comprehensively, the study enables new studies to be carried out by including variables such as road geometry (including bends, intersections, viewing angles, cross slope condition, number of lanes and pavement widths) in future research.

Although my current study emphasizes the need to develop a safe and efficient transportation system in large urban areas, it can be more detailed. In this regard, future studies on the integration of various transportation safety policies and traffic management systems can be included.

Declaration of Ethical Standards

Compliance with all ethical standards.

Credit Authorship Contribution Statement

Author 1: Resources, Research, Experimentation, Writing – original draft Visualization, Writing – original.

Declaration of Competing Interest

The author has no conflicts of interest to declare regarding the content of this article.

Data Availability

All data generated or analyzed during this study are included in this published article.

5. References

Bergmeir, C., Hyndman, R. J., & Benítez, J. M. (2016). Bagging exponential smoothing

methods using STL decomposition and Box–Cox transformation. *International journal of forecasting*, 32(2), 303-312.

Deb, R., & Liew, A. W. C. (2016). Missing value imputation for the analysis of incomplete traffic accident data. *Information sciences*, 339, 274-289.

Djakaria, I., & Saleh, S. E. (2021, May). Covid-19 forecast using Holt-Winters exponential smoothing. In *Journal of physics: conference series* (Vol. 1882, No. 1, p. 012033). IOP Publishing.

Erdoğan, A. H. (2006). Trafik Kazası Veri Tabanı. *Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Ankara: Gazi Üniversitesi FBE.*

Fallon, I., & O'Neill, D. (2005). The world's first automobile fatality. *Accident Analysis & Prevention*, 37(4), 601-603.

Goodwin, P. (2010). The holt-winters approach to exponential smoothing: 50 years old and going strong. *Foresight*, 19(19), 30-33.

Hyndman, R. J., & Athanasopoulos, G. (2018). *Forecasting: principles and practice*. OTexts.

Karayolları Trafik Kanunu. (1983). T. C. Resmi Gazete, 18195, 18/10/1983.

Öztürk, O. (2013). Türkiye'de trafik kazaları gerçeği-II. İstanbul: Uğur Eğitim

Parsa, A. B., Movahedi, A., Taghipour, H., Derrible, S., & Mohammadian, A. K. (2020). Toward safer highways, application of XGBoost and SHAP for real-time accident detection and feature analysis. *Accident Analysis & Prevention*, 136, 105405.

Türkiye Makina Mühendisleri Odası. (2016). Ulaşımında demiryolu gerçeği, Mmo/661.

WHO, (2009), World Health Statistics, WHO Publications, USA, 60-68. Yeşildal, N., (1994), Mortalitede Eğilimler ve Eşitsizlikler, Toplum ve Hekim Yayınları, 9(61), 106-129.

Yağımlı, M., & Ergin, H. (2017). Türkiye'de iş kazalarının üssel düzeltme metodu ile tahmin edilmesi. *Marmara Fen Bilimleri Dergisi*, 29(4), 118-12

Araştırma Makalesi

Su Kalitesi Parametreleri için Mann-Kendall ve Yenilikçi Trend Yöntemlerinin Karşılaştırılması

*¹Ramazan ACAR

¹Munzur Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Tunceli, Türkiye,
ramazanacar@munzur.edu.tr, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-5864-0076>

Geliş: 23.07.2024;

Kabul: 18.11.2024

Öz

Günümüzde farklı veri setleri (su kalitesi, akım, yağış, sıcaklık vb.) ile eğilimlerin tespit edilmesi için pek çok yöntem mevcuttur. Bu çalışmada trend analizi çalışmalarında yaygın bir şekilde kullanılan Mann-Kendall (MK) test istatistiği ile Spearman Rho test istatistiği ve son yıllarda popüler hale gelmiş olan Şen'in yenilikçi trend yöntemi (ITA), Yenilikçi eğilim çözümlemesi için geliştirilmiş görselleştirme (IV-ITA) yöntemlerinin performansları karşılaştırılmıştır. Bu amaçla Akdeniz Bölgesi'nde yer alan Ceyhan Nehri'ne ait 20-06-00-001 numaralı istasyonundan alınan 1986-2013 su yıllarına ait yıllık ortalama ve mevsimlik ortalama 8 adet su kalitesi parametresi kullanılmıştır. Öncelikle her bir parametrenin değerleri YSKYY'nde verilen su kalite değerleriyle karşılaştırılmış ve her bir parametreye göre su kalitesi sınıfları belirlenmiştir. Daha sonra her mevsim kendi içinde ve yıllık ortalama değerlerin trendleri karşılaştırılmıştır. Bu nedenle 5 farklı trend testinin karşılaştırılması yapılmıştır. Ancak sırasıyla yapılmış olan homojenlik ve otoregresif korelasyon testi işlemlerine göre hem %95 güven aralığında homojen olmayan hem de korelasyon değeri 0.30'un üzerinde kalan bazı veriler kıyaslamada kullanılmamıştır. Makalede elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde farklı analizlerin birlikte yapılarak kullanılması testlerdeki yanılma payını azaltacağı kanısına varılmıştır.

Anahtar kelimeler: Su Kalitesi, Yenilikçi Eğilim Çözümlemesi için Geliştirilmiş Görselleştirme, Yenilikçi Trend Testi, Korelasyon, Spearman Rho

*¹Sorumlu Yazar

Bu makaleye atıf yapmak için

Acar, R., (2025). Su Kalitesi Parametreleri için Mann-Kendall ve Yenilikçi Trend Yöntemlerinin Karşılaştırılması. *Journal of Innovations in Civil Engineering and Technology (JICIVILTECH)*, 7(1), 11-27.

<https://doi.org/10.60093/jiciviltech.1521101>

Comparison of Mann-Kendall and Innovative Trend Method for Water Quality Parameters

Abstract

In the present era, there exists a plethora of methodologies for the detection of trends with disparate data sets, including but not limited to those pertaining to water quality, flow, precipitation, and temperature. This study evaluates the effectiveness of the Mann-Kendall (MK) test statistic and Spearman's Rho (SR) test statistic, commonly used in trend analysis studies; Şen's innovative trend method (ITA), which has gained prominence in recent years; and the visualization methods designed for innovative trend analysis (IV-ITA). To this end, eight annual and seasonal average water quality parameters of the Ceyhan River, situated in the Mediterranean region, were obtained from station 20-06-00-001 for the water years 1986–2013. Firstly, the values of each parameter were compared with the water quality values given in the SWQMR, and water quality classes were determined according to each parameter. Accordingly, five distinct trend tests were evaluated. However, following the completion of homogeneity and autoregressive correlation tests, data that did not meet the criteria for homogeneity at the 95% confidence interval and exhibited a correlation value above 0.30 were excluded from the comparison. The article's analysis concludes that the integration of diverse analytical approaches may enhance the precision of the tests.

Keywords: *Water Quality, Enhanced Visualization for Innovative Trend Analysis, Innovative Trend Test, Correlation, Spearman Rho*

1. Giriş

Su en önemli çevresel bileşenlerden biridir. Ayrıca su dünya üzerindeki birçok canlı organizma için önemli konulardan biridir ve su kirliliğinin, kalitesinin bazı yönetmeliklere göre kontrol edilmesi gerekmektedir. Dünya genelinde nüfusun artması, kentsel gelişim, tarımda kullanılan kimyasal maddeler, zamana bağlı değişimler, küresel iklim değişikliği (ısınma veya soğuma), sanayileşmenin artması ve diğer çeşitli nedenlerin sonucunda mevcut su kaynakları son yıllarda önemli ölçüde azalmıştır. Bu nedenle su parametrelerinin kalitesinin ve eğiliminin değerlendirilmesi hem önemli bir araştırma konusu hem de son zamanlardaki su kaynaklarının azalması açısından önem arz eden bir konudur (Elçi ve Selçuk, 2013; Kişi ve Ay, 2014).

Su parametrelerinin kalitesinin belirlenmesi ve trendlerinin tespiti çalışmalarına (Burgan, İçağa, Bostanoğlu ve Kilit, 2013) bakıldığında birçok araştırmacının incelemeler yaptığı görülmektedir. Su parametrelerinin kalitesinin belirlenmesi konusunda Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği (Topal ve Topal, 2016; YSKYY, 2023), Kanada Çevre Bakanlığı Konseyi'nin Belirlediği Su Kalitesi (CCME, 2001a-b), Oregon Su Kalitesi (Cude, 2001), Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalitesi (Brown, McClelland, Deininger ve Tozer, 1970), Su kalite endeksi vb. yöntemler literatürde yazarlar tarafından tercih edilmiştir (Akkoyunlu ve Akiner, 2012; Kır ve Saplıoğlu, 2019). Kalitesi belirlenmiş olan su kaynaklarının gelecekte kalite sınıflarında herhangi bir değişim olup

olmayacağı konusu da çok önemlidir. Bu konunun çözümünde de trend analiz yöntemleri kullanılmıştır. Su kalitesi parametrelerinin trend analizi konusunda genel olarak regresyon (Aksakal ve Gündoğay, 2022), Mann-Kendall (MK) testi (Saplıoğlu, Kilit ve Şenel, 2019), Şen trend test (ITA), Spearman's Rho (SR) testi vb. gibi literatürde yaygın olarak kullanılan yöntemler tercih edilmiştir (Kişi ve Ay, 2014). Su kalitesinin trendi konusu ile ilgili birçok çalışma mevcuttur. Bunlar; yağış (Saplıoğlu ve Dahir, 2018; Korkmaz, 2022), sıcaklık (Saplıoğlu, Kilit ve Yavuz, 2014; Keskin, Çakto, Çetin ve Bektaş, 2018; Mupangwa vd., 2023), akış (Kahya ve Kalaycı, 2004; Gumus, Avsaroglu ve Şimşek, 2022) gibi dolaylı bir şekilde suyun kalitesine etki eden parametreler ve akarsu akımındaki mevcut bileşenlerin konsantrasyonu (pH, CL^- , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , Elektriksel İletkenlik (EI), SO_4^{2-} vb.) ile ilgili çalışmalardır (Kalaycı ve Kahya, 1998).

Albek (2002) 1983-200 yılları arasında Porsuk Nehri'nin Beşdeğirmen istasyonunda kaydedilen su kalitesi parametrelerinin (akış, çözünmüş katı maddeler, Cl^- , PO_4^{-3} , NH_3^+ , BOD_5 , NO_3^- ve askıda katı maddeler) eğilimlerini tespit etmek için bir çalışma yapmıştır. Su kalitesi parametrelerinin eğilimleri konusunda Mevsimsel Mann-Kendall testi, Ki-Kare testi, Kendall Tau testi, Friedman testi ve Spearman's Rho gibi istatistiksel analiz yöntemlerini kullanmıştır. Sonuç olarak, Porsuk Nehri su kalitesinin çözünmüş katı madde, BOD_5 , Cl^- ve PO_4^{-3} parametreleri açısından kötüye gittiğini ve diğer azot türlerinde ise iyiye gittiğini belirtmiştir.

Saplıoğlu, Küçükerdem ve Alqaysi (2017) Orta Akdeniz bölgesindeki Kapuz Çayı, Kurşunlu Şelalesi ve Düden Çayı istasyonlarından temin ettikleri su kalitesi parametrelerinin su kalitesi sınıflarını ve eğilimlerini araştırmışlardır. Eğilimlerin tespiti için trend analiz yöntemlerinden Mann-Kendall test, Şen Grafik testi, Eğilim testi ve Şen Grafik testinden yola çıkarak geliştirilmiş olan istatistiksel analiz yöntemlerini kullanmışlardır. Sonuç olarak, su kalitesi parametrelerinin mevcut durumda I. Sınıf kaliteye sahip olduğunu ve ilerleyen dönemdeki 100 yıl içerisinde değişmeyeceğini söylemişlerdir. Ancak PH değerlerindeki artış oranlarının bu kategoride bulunan sınıflandırmayı III. Dereceye kadar düşürebileceğini söylemişlerdir. Zeydan, Özdoğan, Taştepe ve Demirtaş (2019) Zonguldak Kozlu Deresinde 2017 Haziran ile Aralık aylarında 6 farklı noktadan su kalitesini belirlemek için numuneler almışlardır. Alınan numunelerin sınıflarını YSKYY yöntemine göre belirlemişlerdir. Bu yöntemle göre derede su kalitesi için yapılan ölçümlerin sonuç olarak 4. Sınıf olduğunu tespit etmişlerdir. Kurunç, Yurekli ve Yurtseven (2005) Yeşilirmak Durucasu akım gözlem istasyonundan temin edilen su kalitesi parametrelerinin (El , Na^+ , $Ca^{+2}+Mg^{+2}$, K^+ , Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} ve SAR) eğilimlerini ve ani değişimlerini araştırmışlardır. Eğilim testleri Kendall Tau yöntemini 1984-2001 yılları arasındaki veri dönemi için kullanmışlardır ve parametrelere ait ani değişimleri de göstermişlerdir. Sonuç olarak, her bir su kalitesi parametresi ani değişim için farklı zaman dilimlerinin gözlemlendiğini belirtmişlerdir. Ancak

genel anlamda çoğu su kalitesi parametresinin zaman serilerindeki ani değişimin 1989 ve 1998 yıllarında meydana geldiğini belirtmişlerdir.

Bu çalışmada, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü'nden (DSİ) 20-000-001 numaralı akım gözlem istasyonuna (AGİ) ait su kalitesi parametrelerinin mevsimlik ve yıllık ortalama değerlerinin su kalitesi sınıflandırması yapılmıştır. Ayrıca bu parametrelerin Mann-Kendall test istatistiği, yenilikçi trend yöntemleri kullanılarak eğilimleri belirlenmiş ve geleceğe yönelik kalite sınıflarının değişimi ile ilgili tahminler oluşturulmuştur.

2. Materyal ve Yöntem

2.1 Çalışma alanı ve Veriler

Çalışmada karşılaştırma yapılabilmesi için Türkiye'nin Akdeniz Bölgesi'nde yer alan Ceyhan nehrine ait 20-06-00-001 numaralı Ceyhan Nehri E-5 Köprüsü ölçüm istasyonunun 1986-2013 yılları arasındaki mevsimlik ortalama ve yıllık ortalama su kalitesi parametrelerine ait veriler kullanılmıştır. Bu istasyondan temin edilen su kalitesi parametrelerine ait tanımlayıcı istatistik değerleri Tablo 1'de verilmiştir. Tablo 1'de incelenen parametrelerin standart sapma değerlerine bakıldığında NO_2-N ve $NO_4^{+}-N$ parametrelerinde tüm mevsimlerin ortalama değerlerinin ve yıllık ortalama değerinin üzerinde olduğu, COD parametresi standart sapma değerinde ise kış, ilkbahar ve sonbahar mevsim ortalamalarının üzerinde olduğu görülmektedir. Bu nedenle bahsi geçen parametre

değerlerinin ortalamadan uzak yerlerde dağıldığı yorumu yapılabilir. Tablodaki parametrelerin çarpıklık değerlerine bakıldığında T parametresi tüm veriler, pH ilkbahar mevsimi ortalama verisi hariç tüm veriler, NO₃-N kış mevsimi

ortalama verisi ve EC kış mevsimi ortalama verisi hariç tüm veriler orta derece çarpıklığa sahiptir. Diğer tüm verilerin çarpıklık değerleri 1'den büyük (>1) olup çok çarpıktır.

Tablo 1. Yıllık ve mevsimlik ortalama verilerin tanımlayıcı istatistik sonuçları.

		Yıllık	Kış	İlkbahar	Yaz	Sonbahar
pH	Ortalama	8.14	8.17	8.20	8.08	8.14
	Standart					
	Sapma	0.15	0.15	0.16	0.23	0.27
	Basıklık	0.19	0.90	3.04	0.26	2.97
	Çarpıklık	-0.12	-0.91	1.24	-0.83	-0.15
Sıcaklık (T)	Ortalama	18.64	11.77	16.29	24.97	20.62
	Standart					
	Sapma	1.15	1.64	2.94	1.43	2.86
	Basıklık	-0.37	2.36	0.47	-0.34	-0.54
	Çarpıklık	-0.11	0.78	0.51	0.05	-0.27
Nitrit Azotu (NO₂-N)	Ortalama	0.07	0.01	0.17	0.03	0.10
	Standart					
	Sapma	0.22	0.02	0.79	0.05	0.33
	Basıklık	20.35	5.05	28.90	25.21	17.74
	Çarpıklık	4.42	2.20	5.37	4.90	4.16
Nitrat Azotu (NO₃-N)	Ortalama	1.30	1.13	1.57	1.26	1.21
	Standart					
	Sapma	0.49	0.42	1.34	0.50	0.83
	Basıklık	1.59	1.12	12.96	1.25	10.01
	Çarpıklık	1.21	0.67	3.36	1.31	2.83
Amonyum Azotu (NH₄⁺-N)	Ortalama	0.49	0.42	0.44	0.55	0.55
	Standart					
	Sapma	0.53	0.46	0.46	0.74	0.74
	Basıklık	7.21	7.73	6.96	8.27	5.92
	Çarpıklık	2.52	2.47	2.45	2.89	2.42
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (COD)	Ortalama	8.95	7.88	8.37	8.61	9.66
	Standart					
	Sapma	7.99	12.84	9.15	7.40	10.22
	Basıklık	12.93	17.10	11.62	15.44	10.90
	Çarpıklık	3.47	4.04	3.13	3.61	3.06
Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOD₅)	Ortalama	1.82	1.74	1.41	2.33	1.87
	Standart					
	Sapma	0.95	1.74	0.91	1.83	1.48
	Basıklık	2.85	19.37	5.24	0.68	9.29
	Çarpıklık	1.73	4.10	1.93	1.36	2.67
Elektriksel İletkenlik (EC)	Ortalama	509.43	479.51	497.22	542.87	504.59
	Standart					
	Sapma	49.62	65.15	52.43	75.60	81.01
	Basıklık	-0.84	1.14	0.08	0.48	0.58
	Çarpıklık	-0.32	1.09	0.69	0.27	0.67

Ayrıca tabloda bulunan çarpıklık değerlerinden negatif olanlar sola çarpık, pozitif olanlar da sağa çarpıktır. Parametrelere ait basıklık değerlerine bakıldığında T parametresine ait yıllık, yaz, sonbahar mevsimleri ve EC parametresine ait yıllık ortalama değerleri negatiftir ve Platykurtic bir dağılım mevcuttur. Diğer tüm değerler pozitifdir ve Leptokurtic dağılım söz konusudur. Ayrıca Tablo 1’de pozitif basıklık değerleri arasında çok büyük değerler mevcuttur. Bu basıklık değerleri için çok kalın kuyruklara ve çok aykırı değerlere sahip oldukları yorumu yapılabilir.

2.2 Yöntemler

Zaman serisi verilerinin aynı kümeden olup olmadığının incelenmesi gerekmektedir. Herhangi bir zaman serisinin homojenliğini test eden çeşitli yöntemler vardır. En çok kullanılanlardan biri Runs (Swed-Eisenhart) testidir. Bu testteki hipotez, aynı zaman serisindeki verilerin aynı kümeden geldiği ve homojen olduğudur. Testin uygulanabilmesi için öncelikle medyan değeri bulunur. Daha sonra zaman serisindeki verilerin medyanın üstünde veya altında olup olmadığına bakılır. Bu hesaplamalar sonrasında Denklem 1’den test değeri hesaplanır. Homojenlik ve otoregresif korelasyon testi sonucunda bir veri istenilen sınırların dışında kalıyorsa bu durumda bu veriler üzerinde trend analizi yapılması uygun değildir (Saplıoğlu ve Güçlü, 2022). Bu nedenle trend analizi yapılmadan önce korelasyon testi de yapılmıştır. Otoregresif korelasyon testi değerinin

güvenilir bir trend analizi için 0.30 değerinin altında olması gerekmektedir. Üstünde olması durumunda Prewhitening yapılmalıdır.

$$Z_R = \frac{R - \frac{2N_x N_y + 1}{N_x + N_y}}{\sqrt{\frac{2N_x N_y (2N_x N_y - N)}{N^2 (N - 1)}}} \quad (1)$$

Burada R Runs sayısını, N_x medyanın altındaki değerlerin sayısını, N_y medyanın üstündeki değerlerin sayısını, N ise veri sayısını temsil etmektedir.

MK testi (Mann, 1945; Kendall, 1975), sıra tabanlı parametrik olmayan bir testtir ve aykırı değerlere karşı duyarsızdır. Bu testte verilerin normal dağılım varsayımlarını karşılaması gerekmemektedir (Ashra vd., 2021; Gadedjisso-Tossou vd., 2021) MK test istatistiği şu şekilde hesaplanır:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sign}(x_j - x_i), \text{sign}(x_j - x_i) = \begin{cases} +1 & (x_j - x_i) > 0 \\ 0 & (x_j - x_i) = 0 \\ -1 & (x_j - x_i) < 0 \end{cases} \quad (2)$$

Pozitif bir S değeri yükseliş eğilimini temsil ederken, negatif bir S değeri ise düşüş eğilimini temsil etmektedir. Z değerini elde etmek için varyans değeri hesaplanır. Varyans (S) şu şekilde hesaplanır:

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18} \quad (3)$$

Bağlı grup (m), örneklem büyüklüğü $n > 10$ olması durumunda normal Z test istatistiği Denklem 4’teki gibi hesaplanır.

$$Z = \frac{S \pm 1}{\text{Var}(S)^{1/2}} \quad (4)$$

Bu denklemde $S > 0$ ise $S-1$, $S < 0$ ise $S+1$ kullanılır ve $S=0$ ise $Z = 0$ 'dır. Z 'nin pozitif değeri artan eğilimi göstermektedir. Aksi takdirde düşüş eğilimini göstermektedir (Aditya, Gusmayanti ve Sudrajat, 2021; Acar, 2024).

SR testi (Lehmann ve D'Abrera, 1975; Spearman, 1904), doğrusal ve doğrusal olmayan eğilimler için kullanılan başka bir yöntemdir. Eğilimlerin olup olmadığını doğrulamak amacıyla yaygın bir şekilde kullanılan bir yöntemdir (Rahman, Yunsheng ve Sultana, 2017). Doğrusal eğilimin olup olmadığını tespit etmek için hızlı ve basit bir test yöntemidir. Bu sebeple mevcut eğilimlerin tespiti hususunda yaygın bir şekilde kullanılan trend analiz yöntemlerindendir. Bu testte sıfır hipotezi (H_0), zaman serisinde bulunan tüm verilerin hem bağımsız hem de benzer şekilde dağıldıklarını; alternatif hipotez (H_1) ise artan veya azalan eğilimlerin var olduğu şeklindedir (Shadmani, Marofi ve Roknian, 2012). Bu yöntemde test istatistiği R_{sp} ve standartlaştırılmış test istatistiği olan Z_{sp} Denklem 5 ve 6'da gösterildiği gibi ifade edilir:

$$R_{sp} = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n (D_i - i)^2}{n(n^2 - 1)} \quad (5)$$

$$Z_{SR} = R_{sp} \sqrt{\frac{(n-2)}{(1-R_{sp}^2)}} \quad (6)$$

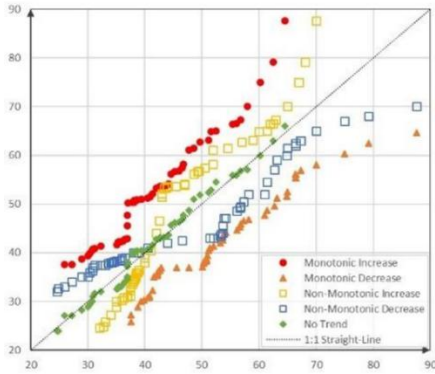
Burada; D_i gözlem sırası, i kronolojik sıra numarası. N zaman serisinin toplam uzunluğunu temsil etmektedir. Tespit edilen Z 'nin pozitif değerleri hidrolojik zaman serisi boyunca artan bir eğilimi

temsil ederken, Z 'nin negatif değerleri ise azalan eğilimleri temsil eder. Normal dağılımda Z değeri $Z_{\alpha/2}$ değerine karşılık gelen ($\alpha=0.05$) önem derecesi değerinden büyük olursa sıfır hipotezi (H_0) reddedilir ve trend olduğu kabul edilir (Ahmad vd., 2015; Acar, 2024).

ITA yöntemi ilk olarak Şen (2012) tarafından önerilmiştir. MK testi veya diğer yöntemlerin aksine, ITA'nın en büyük avantajı herhangi bir varsayım (seri korelasyon, normal olmama, örneklem sayısı) gerektirmemesidir. İlk olarak zaman serisi $y_{1,n/2} = \{x_1, x_2, \dots, x_{n/2}\}$ ve $y_{2,n/2} = \{x_{n/2+1}, x_{n/2+2}, \dots, x_n\}$ şeklinde iki eşit parçaya bölünür ve ayrı ayrı artan veya azalan sırada sıralanır. İki eşit parçaya bölünmüş verilere bağlı olarak birinci yarı X ekseninde ikinci yarı Y ekseninde olacak şekilde bir dağılım diyagramı çizilir. Ayrıca aynı grafik üzerinde eğimi 1:1 olan (45° doğrusu) ideal bir doğru çizilir. Eğer kullanılan veriler bu ideal doğrunun üzerinde toplanır ise herhangi bir trendin olmadığı kanısına varılabilir. Ancak veriler 1:1 ideal doğrusunun üst üçgen bölgesinde ise artan, alt üçgen bölgesinde ise azalan trend söz konusudur. Bu alternatif durumlara ek olarak azalan bölgeden artan bölgeye, artan bölgeden azalan bölgeye geçiş durumları da vardır ve buna kısmi artan-azalan monotonik olmayan trend adı verilir. Yukarıda bahsi geçen tüm durumlar Şekil 1'de sunulmuştur.

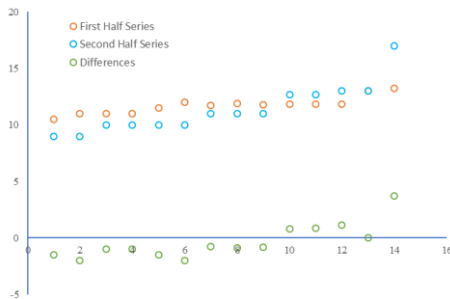
Güçlü (2020) tarafından önerilen IV-ITA yönteminde de ITA yönteminde olduğu gibi öncelikle zaman serisi iki eşit yarıya (parçaya) bölünür ve veriler kendi

içerisinde küçükten büyüğe doğru sıralanır.



Şekil 1. ITA yöntemi 1:1 doğrusuna göre saçılım durumları (Saphioğlu, 2024).

Sonrasında ikinci veri setinden birince veri seti çıkarılarak bir fark serisi elde edilir. Böylelikle veri sayısı birbirine eşit olan üç veri seti elde edilir. Bu seriler için veri değerleri y eksenine, bu veri değerlerine karşılık gelen rakamlar (veri numaraları) ise x eksenine yerleştirilir. Eğer fark serisine ait veriler yatay eksen (x eksen) üzerinde toplanmış ise herhangi bir trend olmadığı kanısına varılır. Veriler yatay eksenin üstünde toplanmış ise artan yönde trend, yatay eksenin altında toplanmış ise azalan yönde bir trend olduğu kanısına varılır (Şekil 2).



Şekil 2. IV-ITA yönteminin uygulanışı.

3. Bulgular

20-06-00-001 numaralı Ceyhan Nehri E-5 Köprüsü ölçüm istasyonunun 1986-2013 yılları arasında ölçümler sonucu elde edilen su kalite parametrelerinden pH, T, EC, NO₂-N, NO₃-N, NH₄⁺-N, BOD₅ ve COD değerleri incelenmiş ve su kalite sınıfları her bir parametre için belirlenmiştir. YSKYY'nde verilen kıta içi yerüstü su kaynakları dört farklı su sınıfına ayrılmıştır. Bunlar, Sınıf-I, Sınıf-II, Sınıf-III ve Sınıf-IV kalitesindeki sulardır. Sınıf-I kalitesindeki sular, yüksek kaliteli sular olarak, Sınıf-II kalitesindeki sular, az kirlenmiş sular olarak, Sınıf-III kalitesindeki sular, kirlenmiş sular olarak ve Sınıf-IV kalitesindeki sular, çok kirlenmiş sular olarak sınıflandırılmaktadır (Topal ve Topal, 2015).

YSKYY'ne göre Sınıf-I kalitesindeki suların pH değerleri 6.5-8.5 arasında olması gerekmektedir. Tablo 1'e bakıldığında yıllık ortalama ve mevsimlik ortalama pH değerlerinin 8.08-8.20 aralığında olduğu görülmektedir. Bu nedenle istasyonun pH açısından su kalitesi Sınıf-I olarak belirlenmiştir.

YSKYY'ne göre Sınıf-I kalitesindeki suların sıcaklık (T) değeri <25 °C, Sınıf-II kalitesindeki suların sıcaklık değeri >25 °C, Sınıf-III kalitesindeki suların sıcaklık değeri <30 °C ve Sınıf-IV kalitesindeki suların sıcaklık değeri >30 °C olması gerekmektedir. Tablo 1'e bakıldığında yıllık ortalama ve mevsimlik ortalama T değerlerinin 25 °C'den küçük değerler aldığından, istasyonun sıcaklık

açısından yüzeysel su kalite sınıfı Sınıf-I olarak belirlenmiştir.

YSKYY incelendiğinde Sınıf-I kalitesindeki suların EC değerlerinin $<400 \mu\text{S/cm}$ olduğu, Sınıf-II kalitesindeki suların EC değerlerinin, $400-1000 \mu\text{S/cm}$ olduğu, Sınıf-III kalitesindeki suların EC değerlerinin, $1001-3000 \mu\text{S/cm}$ olduğu ve Sınıf-IV kalitesindeki suların EC değerlerinin, $>3000 \mu\text{S/cm}$ olduğu görülmektedir. Tablo 1'e bakıldığında yıllık ortalama ve mevsimlik ortalama EC değerlerinin $479.51-542.87 \mu\text{S/cm}$ aralığında olduğu görülmektedir. Bu nedenle istasyonun EC açısından su kalitesi Sınıf-II olarak belirlenmiştir.

YSKYY'nde Sınıf-I kalitesindeki sular için COD değerleri $<25 \text{ mg/L}$ olarak, Sınıf-II kalitesindeki sular için COD değerleri $25-50 \text{ mg/L}$ olarak, Sınıf-III kalitesindeki sular için COD değerleri $50-70 \text{ mg/L}$ olarak ve Sınıf-IV kalitesindeki sular için COD değerleri $>70 \text{ mg/L}$ olarak belirlenmiştir. Tablo 1'e bakıldığında yıllık ortalama ve mevsimlik ortalama COD değerlerinin 25 mg/L değerinden küçük olduğu ve istasyonun COD açısından kalite sınıfının Sınıf-I olduğu tespit edilmiştir.

YSKYY'nde BOD_5 değeri $<4 \text{ mg/L}$ olan sular Sınıf-I kalitesinde sular, $4-8 \text{ mg/L}$ arasında olan sular Sınıf-II kalitesinde sular, $8-20 \text{ mg/L}$ arasında olan sular Sınıf-III kalitesinde sular, $>20 \text{ mg/L}$ olan sular Sınıf-IV kalitesinde sular olarak sınıflandırılmıştır. Tablo 1'e bakıldığında yıllık ortalama ve mevsimlik ortalama BOD_5 değerlerinin 4 mg/L değerinden küçük olduğu ve

istasyonun BOD_5 açısından kalite sınıfının Sınıf-I olduğu belirlenmiştir.

YSKYY'nde NH_4^+-N için verilen değerler incelendiğinde NH_4^+-N değeri $<0,2 \text{ mg/L}$ ise Sınıf-I kalitesinde su, $0,2-1 \text{ mg/L}$ arasında ise Sınıf-II kalitesinde su, $1-2 \text{ mg/L}$ arasında ise Sınıf-III kalitesinde su ve $>2 \text{ mg/L}$ arasında ise Sınıf-IV kalitesinde su olarak sınıflandırılmıştır. Tablo 1'e bakıldığında yıllık ortalama ve mevsimlik ortalama NH_4^+-N değerlerinin $0.2-1.0 \text{ mg/L}$ arasında olduğu ve istasyonun NH_4^+-N açısından kalite sınıfının Sınıf-II olduğu belirlenmiştir.

YSKYY'nde Sınıf-I kalitesinde sular için NO_2^--N değeri, $<0,002 \text{ mg/L}$ olarak, Sınıf-II kalitesinde sular için $0,002-0,01 \text{ mg/L}$, Sınıf-III kalitesinde sular için $0,01-0,05 \text{ mg/L}$, Sınıf-IV kalitesinde sular için $>0,05 \text{ mg/L}$ olarak belirlenmiştir. Tablo 1'e bakıldığında yıllık ortalama, ilkbahar ve sonbahar mevsimleri ortalama NO_2^--N değerlerinin kalite sınıfının Sınıf-IV; kış ve yaz mevsimleri ortalama NO_2^--N değerlerinin kalite sınıfının Sınıf-III olduğu belirlenmiştir.

YSKYY'nde NO_3^--N değeri $<5 \text{ mg/L}$ olan sular Sınıf-I kalitesinde sular, $5-10 \text{ mg/L}$ arasında olan sular Sınıf-II kalitesinde sular, $10-20 \text{ mg/L}$ arasında olan sular Sınıf-III kalitesinde sular ve $>20 \text{ mg/L}$ olan sular Sınıf-IV kalitesinde sular olarak sınıflandırılmıştır. Tablo 1'e bakıldığında yıllık ortalama ve mevsimlik ortalama NO_3^--N değerlerinin 5 mg/L değerinden küçük olduğu ve istasyonun NO_3^--N açısından kalite sınıfının Sınıf-I olduğu belirlenmiştir.

20-06-00-001 numaralı ölçüm istasyonunun 1986-2013 yılları arasında uygulanan testlerin sonuçları bu bölümde irdelenmiştir. Zaman serisi verilerinin aynı kümeden olup olmadığının incelenmesi gerekir. Bu sebeple Tablo 2’de incelenen parametrelerin Run (Z) testi değerleri incelenmiştir. pH için kış ve yaz mevsimleri, T için kış ve sonbahar mevsimleri, $\text{NO}_2\text{-N}$ için yıllık ortalama verisi, $\text{NO}_3\text{-N}$ için kış mevsimi, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ için kış mevsimi, BOD_5 için sonbahar mevsimi ± 1.96 değerlerini dışında olduğu için verilerin %95 güven aralığında homojen olmadığı söylenebilir. Bu sebeple bahsi geçen verilerin kıyaslamada kullanılmamasına karar verilmiştir. Homojenlik ve otoregresif korelasyon testi sonucunda bir veri istenilen sınırların dışında kalıyorsa bu durumda bu veriler üzerinde trend analizi yapılması istatistiksel açıdan uygun değildir. (Saplıoğlu ve Güçlü 2022; Saplıoğlu 2024) Bu nedenle trend analizi yapılmadan önce korelasyon testi de yapılmıştır. Otoregresif korelasyon testi değerinin güvenilir bir trend analizi için 0.30 değerinin altında olması gerekmektedir. Üstünde olması durumunda prewhitening yapılmalıdır. Otoregresif korelasyon sonuçları Tablo 2’de sunulmuştur. Bu tabloya göre tüm sonuçlar trend analizi için uygun değildir. Bu sebeple uygun olmayan verilere ($r > 0.30$ olan değerler) prewhitening işlemi uygulanmıştır. Prewhitening işlemi uygulandığı halde otoregresif korelasyon değeri 0.30’un üstünde kalan $\text{NO}_2\text{-N}$ parametresi kış mevsimi verisi ile EC parametresi yıllık

ortalama verileri de kıyaslamada kullanılmamıştır (Tablo 3).

MK ve SR yöntemlerine ait Z değerleri Tablo 4’te kıyaslamalı olarak gösterilmiştir. Tablo 4’te görülen (-) ile ifade edilen verilerin bazıları homojen olmadığından bazıları ise yüksek otoregresif korelasyon değerine ($r > 0.30$) sahip olduğundan kıyaslamada kullanılmamış ve trend değerleri belirlenmemiştir. Tablo 4’te MK Z değerleri ile SR Z değerleri arasında ayrışan COD parametresine ait kış ve ilkbahar verileridir. Kış verisinde MK Z değerine göre %95 güven aralığında azalan trend gözlemlenirken SR Z değerine göre %95 güven aralığında herhangi bir trend gözlemlenmemiştir. İlkbahar verisinde ise SR Z değerine göre %95 güven aralığında artan trend tespit edilirken MK Z değerine göre herhangi bir trend tespit edilmemiştir. Her iki istatistik trend yöntemine göre pH ve T değerlerinde sadece ilkbahar verilerinde azalan bir trend gözlemlenmiştir. $\text{NO}_2\text{-N}$ parametresi için ilkbahar mevsiminde, $\text{NO}_3\text{-N}$ parametresi için yaz mevsiminde ve EC parametresi için ilkbahar ve yaz mevsimlerinde artan yönde bir trend gözlemlenmiştir. Diğer verilerin tamamında herhangi bir trend gözlemlenmemiştir.

1986-2013 yılları arasında ölçülmüş uzun süreli su kalitesi parametreleri üzerinden testler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlardan ITA ve IV-ITA testleri sonuçları sırasıyla Şekil 3 ve Şekil 4’te gösterilmiştir. Grafikler incelendiğinde iki yöntem sonuçları da benzerlik göstermektedir.

Tablo 2. Yıllık ve mevsimlik ortalama verilerin otoregresif korelasyon ve Run test sonuçları.

		Yıllık	Kış	İlkbahar	Yaz	Sonbahar
pH	Run test Z (± 1.96)	-0.87	-2.95	0.00	-2.35	-0.67
	Otoregresif korelasyon (r)	0.67	0.44	0.28	0.58	0.45
T	Run test Z (± 1.96)	0.00	-2.64	0.00	0.39	-2.24
	Otoregresif korelasyon (r)	-0.03	0.23	-0.02	0.01	0.40
NO₂-N	Run test Z (± 1.96)	-2.64	-1.89	-1.13	-1.13	-1.89
	Otoregresif korelasyon (r)	0.33	0.71	0.00	0.02	0.45
NO₃-N	Run test Z (± 1.96)	-1.13	-2.64	0.01	-1.13	-0.75
	Otoregresif korelasyon (r)	0.39	0.37	0.07	0.53	-0.08
NH₄⁺-N	Run test Z (± 1.96)	-1.13	-2.27	-0.37	-1.13	-1.09
	Otoregresif korelasyon (r)	0.63	0.30	-0.11	0.43	0.69
COD	Run test Z (± 1.96)	-1.85	-0.75	-0.01	-1.00	-1.00
	Otoregresif korelasyon (r)	0.44	0.81	0.06	0.07	0.40
BOD₅	Run test Z (± 1.96)	-0.32	-1.89	0.39	-0.37	-2.64
	Otoregresif korelasyon (r)	0.51	0.25	-0.25	0.51	0.06
EC	Run test Z (± 1.96)	-1.89	-4.16	0.39	-1.13	-1.51
	Otoregresif korelasyon (r)	0.56	0.37	-0.25	0.42	0.17

Tablo 3. Yıllık ve mevsimlik ortalama verilerin prewhitening işlemi sonrası otoregresif korelasyon ve Run test sonuçları.

		Yıllık	Kış	İlkbahar	Yaz	Sonbahar
pH	Run test Z (± 1.96)	0.00	-	0.00	-	0.76
	Otoregresif korelasyon (r)	0.05	-	0.28	-	-0.18
T	Run test Z (± 1.96)	0.00	-	0.00	0.39	-
	Otoregresif korelasyon (r)	-0.03	-	-0.02	0.01	-
NO₂-N	Run test Z (± 1.96)	-	-1.51	-1.13	-1.13	1.90
	Otoregresif korelasyon (r)	-	0.54	0.00	0.02	-0.12
NO₃-N	Run test Z (± 1.96)	0.00	-	0.01	-0.75	-0.75
	Otoregresif korelasyon (r)	-0.27	-	0.07	-0.10	-0.08
NH₄⁺-N	Run test Z (± 1.96)	0.76	-	-0.37	1.52	-1.09
	Otoregresif korelasyon (r)	-0.04	-	-0.11	0.03	0.11
COD	Run test Z (± 1.96)	0.00	-1.13	-0.01	-1.00	-0.61
	Otoregresif korelasyon (r)	-0.16	0.11	0.06	0.07	-0.19
BOD₅	Run test Z (± 1.96)	0.39	-1.89	0.39	0.00	-
	Otoregresif korelasyon (r)	-0.09	0.25	-0.25	-0.12	-
EC	Run test Z (± 1.96)	2.66	-	0.39	0.01	-1.51
	Otoregresif korelasyon (r)	-0.36	-	-0.25	-0.26	0.17

Ancak bazı parametrelerde ve verilerde (yıllık veya mevsimlik) farklılıklar söz konusudur. NO₂-N parametresinde ITA yönteminde tüm verilerde artan trend tespit edilirken IV-ITA yönteminde

ilkbahar mevsimi için herhangi bir trend gözlemlenmemiştir. ITA yönteminde pH parametresi için tüm verilerde azalan trend tespit edilirken IV-ITA yönteminde herhangi bir trend

Tablo 4. MK ve SR yöntemleri Z değerlerinin kıyaslama tablosu

	Yıllık		Kış		İlkbahar		Yaz		Sonbahar	
	Z _{MK}	Z _{SR}	Z _{MK}	Z _{SR}	Z _{MK}	Z _{SR}	Z _{MK}	Z _{SR}	Z _{MK}	Z _{SR}
pH	-1.52	-1.46	-	-	-2.91	-2.90	-	-	-0.30	-0.39
T	0.00	-0.04	-	-	-2.89	-2.93	-1.01	-0.65	-	-
NO ₂ -N	-	-	-	-	4.45	6.03	1.59	1.83	-0.02	0.21
NO ₃ -N	0.47	0.42	-	-	1.52	1.79	2.31	2.52	0.54	0.46
NH ₄ ⁺ -N	0.66	0.64	-	-	1.56	1.76	1.22	1.16	0.84	0.63
COD	-0.79	-0.85	-2.11	-1.59	1.71	2.11	-0.65	-0.56	-1.66	-1.33
BOD ₅	0.62	0.61	-0.77	-0.62	0.21	0.11	1.56	1.44	-	-
EC	-	-	-	-	2.08	2.19	2.01	2.07	0.88	1.06

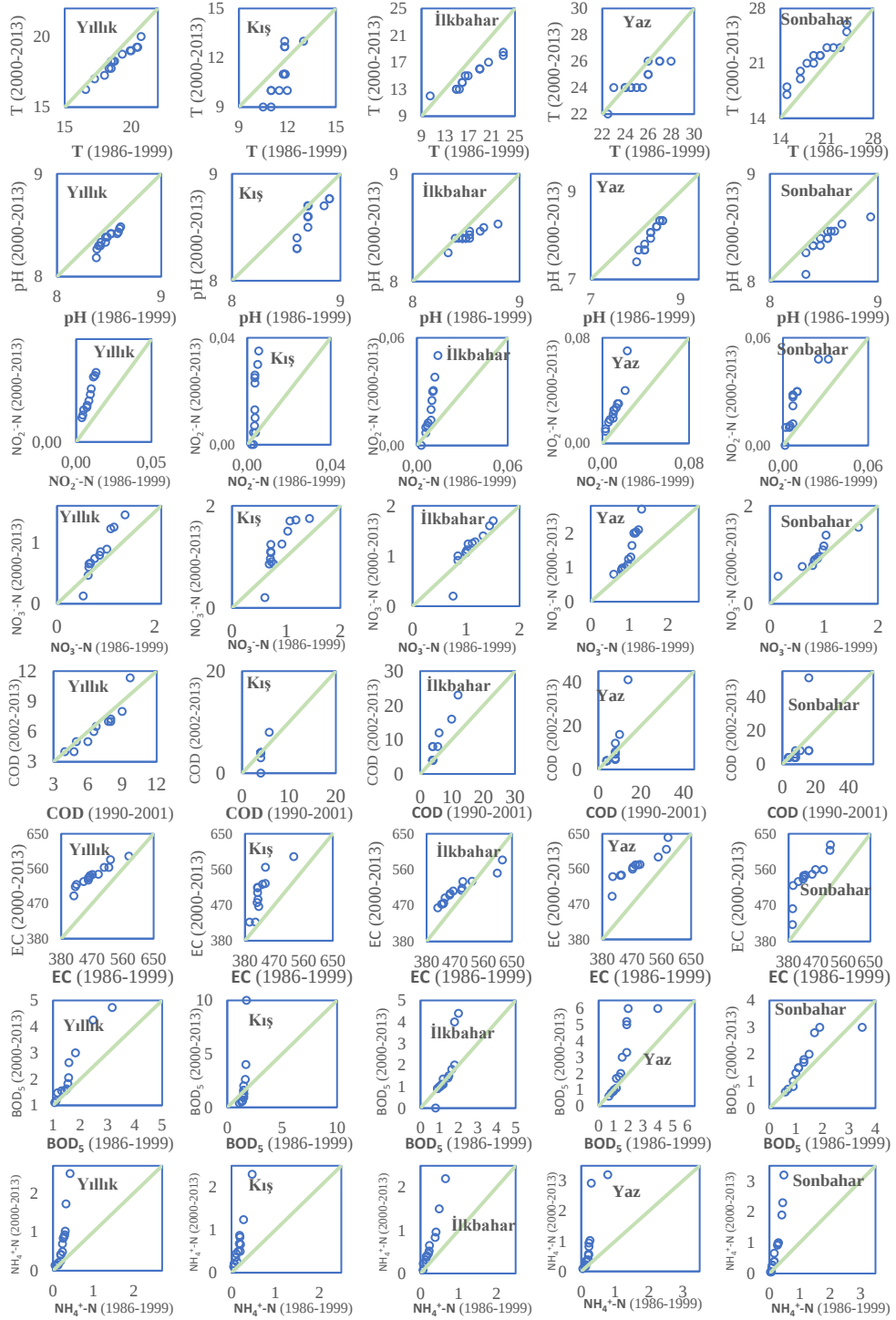
gözlemlenmemiştir. COD parametresi için ITA yönteminde yıllık ve sonbahar mevsimi verilerinde azalan yönde trend, ilkbahar mevsimi verilerinde artan yönde trend, kış ve yaz mevsimlerinde ise herhangi bir trend gözlemlenmemiştir. IV-ITA yönteminde ise sonbahar mevsiminde azalan yönde trend tespit edilirken diğer verilerde herhangi bir trend gözlemlenmemiştir. T, NO₃-N, EC, BOD₅ ve NH₄⁺-N parametrelerinde iki yöntem için de benzer sonuçlar elde edilmiştir. T parametresi için sonbahar mevsiminde artan diğer tüm verilerde azalan yönde trend tespit edilmiştir. NO₃-N, NH₄⁺-N ve EC parametreleri için hem yıllık ortalama verileri hem de mevsimlik ortalama verileri için artan yönde trend tespit edilmiştir. BOD₅ parametresi için yıllık ortalama verileri ve sonbahar mevsimi ortalama verileri için artan yönde trend tespit edilirken diğer verilerde herhangi bir trend söz konusu değildir.

4. Sonuçlar

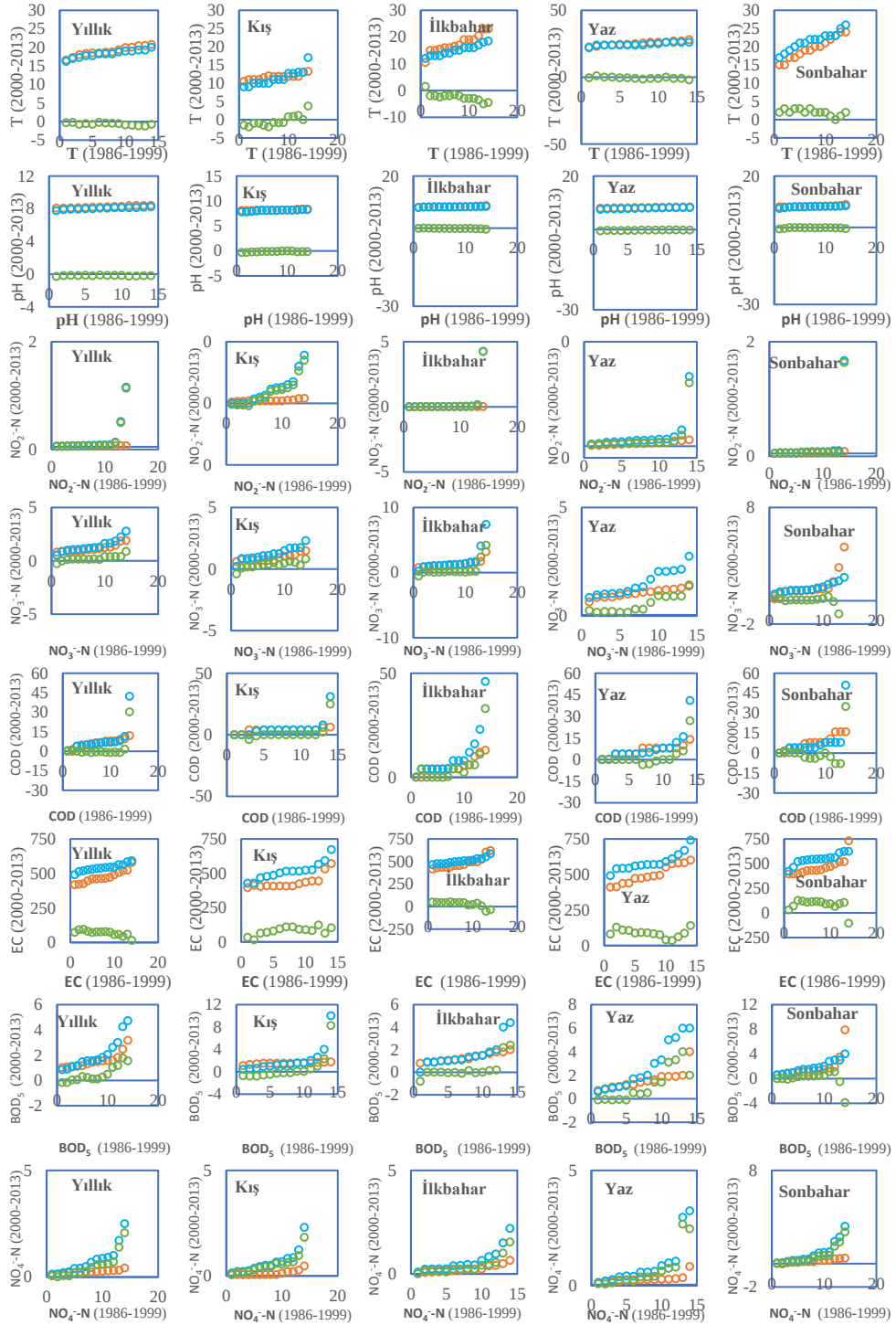
Günümüzde artan nüfus ve sanayileşmeden dolayı su kaynaklarının korunması çok önemlidir. Mevcut su

kaynaklarının korunması için öncelikle bu kaynakların mevcut kalitesini tespit etmek, daha sonrada gelecekle ilgili öngöründe bulunmak çok önemlidir. Bu çalışmada Akdeniz akarsularından olan Ceyhan Nehri'ne ait istasyonun pH, T, EC, NO₂-N, NO₃-N, NH₄⁺-N, BOD₅ ve COD parametrelerinin değerleri YSKYY'nde belirlenen su kalite standartlarıyla karşılaştırılarak su kalitesi sınıfı her bir parametre için belirlenmiştir. Ayrıca her bir parametrenin Mann-Kendall test istatistiği, yenilikçi trend yöntemleri kullanılarak eğilimleri belirlenmiştir.

Elde edilen veriler değerlendirildiğinde 20-06-00-001 numaralı Ceyhan Nehri E-5 Köprüsü ölçüm istasyonundan alınan pH, T, COD, BOD₅, NO₃-N parametreleri açısından Sınıf-I kalitesinde olduğu, EC ve NH₄⁺-N parametreleri açısından Sınıf-II olduğu, NO₂-N parametresi açısından yıllık ortalama, ilkbahar ve sonbahar mevsimleri için Sınıf-IV, kış ve yaz mevsimleri için ise Sınıf-III kalitesinde olduğu tespit edilmiştir. Mevsimsel ve yıllık ortalama verilerin su kalitesi sınıfı tespitinde sadece NO₂-N parametresi sonuçlarının tutarsız olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 3. Yıllık ve mevsimlik ortalama su kalitesi parametrelerine ait ITA testi eğilimleri.



Şekil 4. Yıllık ve mevsimlik ortalama su kalitesi parametrelerine ait IV-ITA testi eğilimleri.

Diğer parametrelerde ise yıllık ve mevsimsel ortalama verilerin sonuçlarının birbiri ile paralel sonuçlar verdiği belirlenmiştir.

Verilerin istatistiksel anlamda eğilim analizlerinin güvenilirliğinin test edilmesi amacıyla birinci aşamada homojenlik testi yapılmıştır. Homojen olmayan veri setlerinin eğilim sonuçlarına istatistiksel yöntemlerin değer tablosunda yer verilmemiştir. İkinci aşamada ise otoregresif korelasyon testi yapılmıştır. Daha sonra bu teste göre de istenilen değer aralığında olmayan veriler istatistiksel yöntemlerin değer tablosuna dahil edilmemiştir. Yapılan analizler sonucunda elde edilen trend analiz sonuçlarının özellikle pH ve COD parametrelerinde kullanılan istatistiksel ve yenilikçi trend yön-temleri sonuçları birbiriyle uyum sağlamamıştır. Mann-Kendall ve Spearman Rho istatistiksel yön-temlerinin sadece COD parametresinin kış ve ilkbahar mevsimlerinin sonuçlarında farklı sonuçlar elde ettikleri görülmüştür. Genel olarak elde edilen trendlerde görsel trend yöntemlerinin kendi içinde, istatistiksel yöntemlerinde kendi içerisinde benzer sonuçlar vermişlerdir. Ayrıca verilerdeki farkın çok belirgin olmadığı durumlarda görsel trend yöntemlerinin kullanılmasının daha uygun olacağı görülmüştür.

Kullanılan tüm yöntemler trend analizi için uygundur. Ancak bir hidrolojik olayda trend belirlenirken bu yöntemlerin beraber kullanılması güvenilirliği arttıracaktır. Makalede elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde

farklı analizlerin birlikte yapılarak kullanılması testlerdeki yanılma payını azaltacaktır.

Etik Standartlar Bildirgesi

Yazarlar tüm etik standartlara uyduklarını beyan ederler.

Yazarlık Katkı Beyanı

Yazar 1: Araştırma, Metodoloji, Kavramsallaştırma, Analiz ve yorumlama, Doğrulama, Yazma/orijinal taslak, Yazma/inceleme ve düzenleme, Görselleştirme

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarların bu makalenin içeriğiyle ilgili olarak beyan edecekleri hiçbir çıkar çatışması yoktur.

Verilerin Kullanılabilirliği

Bu çalışma sırasında oluşturulan veya analiz edilen tüm veriler, yayınlanan bu makaleye dahil edilmiştir.

5. Kaynaklar

- Acar, R. (2024). Evaluation of susurluk basin flows using trend analysis methods. *Firat University Journal of Experimental and Computational Engineering*, 3(1), 65-74.
- Aditya, F., Gusmayanti, E., & Sudrajat, J. (2021). Rainfall trend analysis using Mann-Kendall and Sen's slope estimator test in West Kalimantan. *In IOP conference series: earth and environmental science*, 893(1), 012006.
- Ahmad, I., Tang, D., Wang, T., Wang, M., & Wagan, B. (2015). Precipitation Trends over Time Using Mann-Kendall and Spearman's rho Tests in Swat River Basin, Pakistan. *Advances in Meteorology*, 2015(1), 431860.
- Akkoyunlu, A., & Akiner, M. (2012). Pollution evaluation in streams using water quality indices: A case study from

- Turkey's Sapanca Lake Basin. *Ecological Indicators*, 18, 501-511.
- Aksakal, A., & Gündoğay, A. (2022). Determination Of Column Curvature Ductility By Multiple Regression Analysis. In *1st-International Congress on Modern Sciences Tashkent, Uzbekistan*, 395, 403.
- Albek, E. (2002). Stical Analysis of Water Quality Trends: An Application to the Porsuk Stream.
- Ashraf, M., Ahmad, I., Khan, N., Zhang, F., Bilal, A., & Guo, J. (2021). Streamflow variations in monthly, seasonal, annual and extreme values using Mann-Kendall, Spearman's Rho and innovative trend analysis. *Water Resources Management*, 35, 243-261.
- Brown, R., McClelland, N., Deininger, R., & Tozer, R. (1970). A water quality index-do we dare. *Water and sewage works*, 117(10).
- Burgan, H., İçağa, Y., Bostanoğlu, Y., & Kilit, M. (2013). Akarçay Akarsuyu 2006-2011 dönemi su kalite eğilimi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19(3), 2006-2011.
- Cude, C. (2001). Oregon water quality index a tool for evaluating water quality management effectiveness. *AWRA Journal of the American Water Resources Association*, 37(1), 125-137.
- Elçi, Ş., & Selçuk, P. (2013). Effects of basin activities and land use on water quality trends in Tahtali Basin, Turkey. *Environmental Earth Sciences*, 68, 1591-1598.
- Environment, C. (2001a). Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: CCME Water Quality Index 1.0, User's Manual. In: Canadian Environmental Quality Guide-lines, 1999. *Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg*.
- Environment, C. (2001b). Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: CCME Water Quality Index 1.0, User's Manual. In: Canadian Environmental Quality Guidelines, 1999. *Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg*.
- Gadedjisso-Tossou, A., Adjegan, K., & Kablan, A. (2021). Rainfall and temperature trend analysis by Mann-Kendall test and significance for Rainfed Cereal Yields in Northern Togo. *Sci*, 3(1), 17.
- Gumus, V., Avsaroglu, Y., & Simsek, O. (2022). Streamflow trends in the Tigris river basin using Mann-Kendall and innovative trend analysis methods. *Journal of Earth System Science*, 131(1), 34.
- Güçlü, Y. (2020). Improved visualization for trend analysis by comparing with classical Mann-Kendall test and ITA. *Journal of Hydrology*, 584, 124674.
- Kahya, E., & Kalaycı, S. (2004). Trend analysis of streamflow in Turkey. *Journal of hydrology*, 289(1-4), 128-144.
- Kalaycı, S., & Kahya, E. (1998). Detection of water quality trends in the rivers of the Susurluk basin.
- Kendall, M. (1948). Rank correlation methods.
- Keskin, M., Çakto, İ., Çetin, V., & Bektaş, O. (2018). DOĞU ANADOLU BÖLGESİ SICAKLIK VE YAĞIŞ TREND ANALİZİ. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 6(2), 294-300.
- Kır, E., & Saphioğlu, K. (2019). Isparta-Antalya Bölgesi'ndeki Yüzeysel Suların Kalitesinin İncelenmesi. *İklim Değişikliği ve Çevre*, 4(1), 9-16.
- Kisi, O., & Ay, M. (2014). Comparison of Mann-Kendall and innovative trend method for water quality parameters of the Kizilirmak River, Turkey. *Journal of Hydrology*, 513, 362-375.
- Korkmaz, M. (2022). Statistical and Trend Analysis of Long-Term Rainfall in Ayvalık. *International Journal of Technology and Emerging Sciences (IJTES)*, 2(04), 34-9.
- Kurunç, A., Yurekli, K., & Yutseven, E. (2005). Determination of sudden changes in time series of Yesilirmak River-Durucasu water quality records. *Journal of Applied Sciences*, 5(1), 122-126.

- Lehmann, E., & D'Abrera, H. (2006). Nonparametrics: statistical methods based on ranks. *New York: Springer.*, 464.
- Mann, H. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica: Journal of the econometric society*, 245-259.
- Mupangwa, W., Chipindu, L., Ncube, B., Mkuhlani, S., Nhantumbo, N., Masvaya, E., & Liben, F. (2023). Temporal changes in minimum and maximum temperatures at selected locations of southern Africa. *Climate*, 11(4), 84.
- Rahman, M., Yunsheng, L., & Sultana, N. (2017). Analysis and prediction of rainfall trends over Bangladesh using Mann-Kendall, Spearman's rho tests and ARIMA model. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 129(4), 409-424.
- Saplioglu, K., Kilit, M., & Şenel, F. (2019). Investigation of changes in climate data using checkerboard: the case of Akarçay basin. *Applied Ecology & Environmental Research*, 17(2).
- Saplioglu, K. (2024). Mann-Kendall Trend Testi ile Yenilikçi Yöntemlerin Kıyaslanması: Beşkonak Aylık Akım Verileri Örneği. *Journal of Innovations in Civil Engineering and Technology*, 6(1), 1-12.
- Saplioglu, K., & Dahir, A. (2018). Somaliland Bölgesi (Somali) Yağışlarının Trend Analizi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8(1), 48-62.
- Saplioglu, K., & Güçlü, Y. (2022). Combination of Wilcoxon test and scatter diagram for trend analysis of hydrological data. *Journal of Hydrology*, 612, 128132.
- Saplioglu, K., Kilit, M., & Yavuz, B. (2014). Trend analysis of streams in the Western Mediterranean Basin of Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin*, 23(1), 313-327.
- Saplioglu, K., Küçükerdem, T., & Alqaysi, R. (2017). Akdeniz Bölgesi akarsularının su kalitesi sınıflarının ve trendlerinin belirlenmesi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 8(1), 33-42.
- Shadmani, M., Marofi, S., & Roknian, M. (2012). Trend analysis in reference evapotranspiration using Mann-Kendall and Spearman's Rho tests in arid regions of Iran. *Water resources management*, 26, 211-224.
- Spearman, C. (1961). The proof and measurement of association between two things.
- Şen, Z. (2012). Innovative trend analysis methodology. *Journal of Hydrologic Engineering*, 17(9), 1042-1046.
- Topal, M. (2015). Caro Deresi (Elazığ)'nin Fizikokimyasal Parametreler Açısından Su Kalitesinin Belirlenmesi. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 4(1), 43-53.
- Topal, M., & Topal, E. (2016). Murat Nehri (Elazığ)'nin Bazı Fizikokimyasal Parametreler Açısından Su Kalitesinin Belirlenmesi. *In International Symposium of Water and Wastewater Management*.
- YSKYY. (2023). erüştü Su Kalitesi Yönetmeliği, 01.02.2023 Tarih ve 32091 Sayılı Resmi Gazete.
- Zeydan, Ö., Özdoğan, N., Taştepe, P., & Demirtaş, D. (2019). Kozlu deresinde (Zonguldak) su kalitesinin incelenmesi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 5(2), 187-197.

Research Article

Uydu Görüntüleri Yardımıyla Burdur Gölü'nün Su Seviyesi Değişiminin Farklı Su İndeksleriyle Analizi ve Gelecek Yıllardaki Değişiminin Tahmini

*¹Ayşe ÖZTAŞ, ²Aziz Uğur TONA, *³Vahdettin DEMİR, ⁴Mehmet EREN

¹KTO Karatay Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye, ayse.ozts@hotmail.com, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-7269-4924>

²Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Gümüşhane, Türkiye, azizugurtona@gumushane.edu.tr, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-7367-7731>

³KTO Karatay Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye, vahdettin.demir@karatay.edu.tr, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-6590-5658>

⁴Yıldız Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, meren@yildiz.edu.tr, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-8370-8615>

Geliş: 04.10.2024;

Kabul: 28.01.2025

Öz

Çalışmanın amacı, Burdur Gölü'nün su yüzey alanı üzerindeki mekânsal değişimleri analiz etmek ve Burdur Gölü Havzası'ndaki uzun yıllık iklim kayıtlarındaki eğilimleri inceleyerek göl yüzey alanının gelecekteki durumu hakkında tahminler yapmaktır. Bu doğrultuda, çalışma alanı için Landsat 4-5 ve Landsat 8 uydu görüntüleri kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir. Bu görüntülerin sınıflandırılması, Modifiye Normalleştirilmiş Fark Su İndeksi (mNDWI), Normalleştirilmiş Fark Su İndeksi (NDWI) ve Su İndeksi 2015 (WI2015) su indisleri kullanılarak yapılmıştır ve 1985-2021 yılları arasında her yıl için göl yüzey alanı verileri toplanmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre, Burdur Gölü'nün su alanı 1985 yılı ile 2021 yılı arasında büyük oranda (81.7-92.3 km²) azalmıştır. Yapılan doğrusal regresyon analizlerine dayanarak, gölün 2070-2080 arasında kuruyacağı tahmin edilmektedir. WI2015 yöntemi, OMH (7.0554) ve GOMH (4.1711) gibi düşük hata değerleri ile 0.9923'lük yüksek korelasyon katsayısı ile en başarılı yöntem olarak değerlendirilebilir.

Anahtar kelimeler: Su İndeksleri, Burdur Gölü, Uydu Görüntüsü, Kuraklık

*³Sorumlu Yazar

Bu makaleye atıf yapmak için

Öztaş, A., Tona, A.U., Demir, V., & Eren, M. (2025). Su Kalitesi Parametreleri için Mann-Kendall ve Yenilikçi Trend Yöntemlerinin Karşılaştırılması. *Journal of Innovations in Civil Engineering and Technology (JICIVILTECH)*, 7(1), 29-48. <https://doi.org/10.60093/jiciviltech.1561218>

Analysis of the Water Level Change in Lake Burdur Using Satellite Images with Different Water Indices and Prediction of Future Changes

Abstract

The study aims to analyze the spatial changes in the water surface area of Burdur Lake and to predict the future state of the lake's surface area by examining long-term climate trends within the Burdur Lake Basin. In this regard, the study area was analyzed using Landsat 4-5 and Landsat 8 satellite images. These images were classified using the Modified Normalized Difference Water Index (mNDWI), Normalized Difference Water Index (NDWI), and Water Index 2015 (WI2015) water indices, and lake surface area data were collected for each year between 1985-2021. According to the study results, Burdur Lake's water area decreased significantly (81.7-92.3 km²) between 1985 and 2021. Based on linear regression analysis, it is estimated that the lake will dry out between 2070-2080. The WI2015 method can be considered the most successful method with low error values such as MAE (7.0554) and MARE (4.1711) and a high correlation coefficient of 0.9923.

Keywords: *Water Indexes, Burdur Lake, Satellite Image, Drought*

1. Giriş

Su, toplumsal ve ekolojik faaliyetlerin temel kaynağıdır. Türkiye, sınırlı su kaynaklarına sahip bir coğrafyada yer almakta ve su yönetimindeki hatalar, artan nüfus, su talebi ve iklim değişikliği gibi faktörlerle su sıkıntısı yaşamaktadır (Aküzüm vd., 2010). Bilinçsiz kullanım ve kirlilik, su kaynaklarının hızla azalmasına neden olmaktadır (Kurttaş ve Tezcan, 2018).

Yarı kurak iklimlerde, yağışların düzensizliği su yönetimini daha kritik hale getirmekte, sulak alanların korunması ve kuraklık öngörüsü için bölgesel analizler önem taşımaktadır (Pamuk vd., 2004; Latifoğlu vd., 2024). Kuraklığın belirsiz süresi, yaygın etkileri ve ekonomik maliyeti, su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimini zorunlu kılmaktadır (Citakoglu ve Coşkun, 2022).

Sürdürülebilir su kaynakları yönetiminde, özellikle göller gibi büyük su kütle sistemleri için kuraklık durumlarının sürekli olarak izlenmesi son derece önemlidir (Coşkun ve Citakoglu, 2023; Aktürk vd., 2024). Bu izleme süreci, su kaynaklarının korunması, ekosistem dengesinin sürdürülmesi ve gelecekteki su ihtiyaçlarının karşılanmasına yönelik stratejik önlemlerin geliştirilmesinde temel bir rol oynamaktadır (Kaya ve Kaplan, 2021). Türkiye'de 1 km²'den daha büyük 104 doğal göl bulunmaktadır. Bu göller arasında tuz ve soda üretimi gibi çeşitli amaçlar için kullanılanlar da vardır. Ayrıca sulama ve genel kullanım amaçlarıyla işletilen

göller de mevcuttur. Türkiye'nin göller bakımından zenginliği, ülkenin su kaynakları açısından stratejik bir öneme sahip olmasını sağlamaktadır. Bu göller, morfolojik ve hidrolojik açıdan çeşitlilik göstermektedir (Kurttaş ve Tezcan, 2018). Antropojenik faaliyetler ve iklim değişikliği nedeniyle yükselen sıcaklıklar, kış aylarında göller üzerindeki buz örtüsünde azalmaya ve yüzey suyu sıcaklıklarında artış olmasına yol açmaktadır. Bu değişimlerin bir sonucu olarak, göllerin su seviyeleri ve yüzey alanları hızla azalmaktadır. Bu bağlamda, yaşamsal öneme sahip olan suya erişim ve su temini giderek küresel bir sorun haline gelmektedir (Işıldar ve Ercoşkun, 2021). Göl alanlarının değişim süreci oldukça karmaşık bir süreçtir; başlangıçta göl ile havza arasındaki doğal su döngüsünden etkilenir ve bu da havza içindeki hidrolojik değişiklikleri tetiklemektedir (Demir, 2022). Göller, belirli bir bölgedeki iklim değişikliğinin su kaynakları üzerindeki olumsuz olan etkilerinin gözlemlenebileceği doğal oluşumlardır. Bu sebeple, iklim değişikliğinin öncül etkileri genel olarak göllerde fark edilir. Bu durum, göllerde olan değişimlerin izlenmesinin su kaynaklarının yönetimi ve korunması açısından büyük önem taşıdığını ortaya koymaktadır.

Göller, yeraltı kaynaklarından sızan su ve bazı mevsimsel akarsular ve yağmur suları üzerinden beslenirler. Geçmişteki kayıtlara göre, göl su seviyeleri jeolojik zamanlar içerisinde düşme ve yükselme eğilimleri göstermiştir. Bununla birlikte, meteorolojik ve hidrojeolojik faktörlere bağlı olarak bazen dönemsel su

seviyelerinde artışlar da görülebilir. (Beyhan vd., 2009). Türkiye'nin güneybatısında yer alan ve "Göller Yöresi" olarak adlandırılan bölge, birçok değerli sulak alana ev sahipliği yapmaktadır. Bu alanlardan biri de Burdur Gölü'dür. Geçmiş jeolojik dönemlerde çeşitli değişimlere uğrayan Burdur Gölü, karasal ortama evrilen bir yapıya sahiptir ve halen bu evrilmeye devam etmektedir (Roberts, 2003a; Ataol, 2010; Tudryn vd., 2013). Burdur Gölü, bölgedeki sulak alanların önemli bir parçası olarak değerlendirilmektedir. Bu göl ve çevresindeki ekosistemler, çeşitli ekolojik ve biyolojik süreçlere ev sahipliği yapmaktadır. Ayrıca, göl ve çevresi, yerel halk için önemli bir su kaynağı ve doğal yaşam alanıdır. Sulak alanların korunması ve yönetimi, Burdur Gölü gibi doğal kaynakların sürdürülebilirliği açısından büyük bir öneme sahiptir. Bu doğal alanların bilimsel çalışmalarla sürekli olarak izlenmesi ve korunması hem yerel ekosistemlerin devamlılığını sağlamak hem de su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımını temin etmek açısından kritik bir role sahiptir.

Literatürde göl yüzey alanlarının tespit edilmesinde yapılan çalışmalar incelendiğinde; Oğuz ve Tuğluer (2022) 1972 yılına ait Landsat 1 MSS ve 2022 yılına ait Landsat 8 uydu görüntülerine dayanarak kontrollü sınıflandırma yöntemi ile yaptıkları çalışma sonucunda, Burdur Gölü'nün yüzey alanının son 50 yılda %44 oranında, 92,3 km² (211,1 km²'den 118,8 km²'ye) azaldığını belirlemişlerdir. Alevkayalı vd. (2023), Burdur Gölü'nün su yüzey alanı üzerindeki mekânsal değişimlerin

(1986-2022) yanı sıra iklim kayıtlarındaki (1940-2021) eğilimlerini incelemiş, Mann-Kendall Eğilim Testi ve SARIMA yöntemini kullanarak, iklim parametrelerindeki 10 yıllık tahminlerini yapmışlardır. Göl kıyı çizgisi analizlerine göre, su yüzey alanının 10 yıl içinde 17 km² daha daralacağını öngörmüşlerdir. Peker vd. (2023) 1984-2023 yılları arasına ait Landsat ve Sentinel-2 uydu görüntülerini Google Earth Engine (GEE) bulut yazılımında değerlendirmiştir. Burdur Gölü'nde su kaplı alanın tespiti için normalleştirilmiş su indeksi (NDWI) kullanmışlardır. Çalışmanın sonucunda göl yüzey alanındaki azalmayı ortaya koymuşlardır. Pınarlık vd. (2023) Burdur Gölünü ele alarak iklim değişikliği etkisi altında göl su seviyesindeki değişimleri incelemişlerdir. Araştırmacılar, 1975-2020 yılları arasında göl parametreleri ile iklim parametreleri arasındaki ilişkiyi detaylı bir şekilde korelasyon analiziyle değerlendirmişlerdir. Analiz sonuçlarına göre, Burdur Gölü'nün su seviyesinin 1975-2020 döneminde belirgin bir düşüş eğilimi gösterdiği saptanmış, bu eğilimin 2021-2050 yılları arasında da artarak devam etmesinin muhtemel olduğu öngörülmüştür. Şener ve Morova (2011), Burdur Gölü su seviyesi değişimlerinin tahmin edilmesi için bulanık mantık yöntemiyle bir model geliştirmiştir. Araştırmada, Burdur Gölü ve çevresinde yer alan gözlem istasyonlarının 1975-2004 arası yıllarına ait yıllık ortalama verilerini kullanmışlardır. Modellerin güvenilirliğini test etmek için geliştirdiği bulanık mantık modelinin ve

oluşturduğu regresyon denkleminin tahmin ettiği değerleri, gözlem istasyonu verileri ile karşılaştırmıştır. Buna göre, bulanık mantık yöntemi ile ölçüm verileri arasında $R^2= 0.89$ gibi yüksek bir korelasyon bulunurken, çoklu doğrusal regresyon analizi sonuçları ile ölçüm verileri arasında $R^2= 0.70$, tahminin standart hatası 2.076 ve $R = 0.837$ gibi daha düşük bir ilişki tespit etmiştir.

Su yüzeylerinin haritalandırılmasında kontrollü ve kontrolsüz sınıflama teknikleri yaygın olarak kullanılmaktadır (Ozesmi ve Bauer, 2002). Temel prensibi eşit değer belirleme üzerine yoğunlaşan bu teknikler farklı bölgelerdeki tüm su yüzeyleri için geçerli bir sonuç üretemebilmektedirler. Bu nedenle daha geçerli ve etkili bir teknik olarak su yüzeyleri haritalamak için su indisleri geliştirilmiştir. Bu indeks/indisler multispektral görüntülerde iki veya daha fazla band arasında aritmetik işlemlere dayanmaktadır ve görüntünün su olan ve su olmayan alanlar olarak ayrılmasına yardım etmektedir. Bu indislere örnek olarak Tasseled Cap Wetness (TCW), Normalize Fark Bitki Indisi (NDVI), Normalize Su Fark Indisi (NDWI) verilebilir (Crist, 1985; Domenikiotis vd., 2003; Campbell ve Wynne, 2011).

Uydu görüntülerinin işlenmesinde su indeksleri kullanılarak arazi örtüsü dinamiklerini etkili bir şekilde analiz edebilir ve zaman içinde göl alanlarındaki değişiklikleri izlenebilir (Ahi ve Eymen, 2021). Bu teknolojiler su havzası yönetimi hakkında değerli

öngörüler sağlayarak karar verme süreçleri için hem nitel hem de nicel bilgiler sunmaktadır (Butt vd., 2022). NDWI ve mNDWI gibi su indeksleri, özellikle su kütlelerini diğer arazi örtüsü türlerinden ayırt etmede etkilidir. mNDWI gibi su rezerv alanlarının belirlenmesinde kullanılan indisler, su kütlelerinin ayırımında başarılı sonuçlar vermektedir (Sabuncu, 2020). Diğer yandan, açık su yüzeylerinin, su kütlelerinin ve taşkın alanlarının belirlenmesi gibi amaçlar için geliştirilen NDWI sulak alanlarda yoğun bir şekilde kullanılmaktadır (Karabulut, 2015). Blackmore (2000), sulak alanların hidrolojik bağlantısını tahmin etmek için NDWI ve mNDWI karşılaştırılmış ve sulak alan değerlendirmelerinde Landsat OLI görüntülerinden ve CBS'den elde edilen bu su indekslerinin katkısı gösterilmiştir. Bir başka çalışma, sulak alan haritalaması için yakın kızılötesi ve kısa dalga kızılötesi yansımalarından türetilen NDWI'nin kullanımını vurgulayarak, multispektral uzaktan algılama kullanarak sulak alanın uzamsal kapsamını ve su altında kalan alanın mevsimsel değişimlerini belirlemeye odaklanmıştır (Nhamo vd., 2017).

NDWI ve mNDWI dahil olmak üzere birden fazla su indeksinin uygulanması, bu indekslerin nehir havzalarındaki su kütlelerini tanımlamadaki etkinliklerini değerlendirmek için karşılaştırıldığı hidrografi çalışmalarında çok önemli olmuştur (Duplančić Leder vd., 2020). Ayrıca, NDWI ve morfolojik bir gölge indeksini birleştiren NDWI-MSI adlı yeni bir su indeksi, yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinden su kütlelerini

tanımlamak için geliştirilmiş ve kentsel ortamlar için su indeksi geliştirmede yenilik göstermiştir (Xie vd., 2016). Chauhan vd. (2021), sulak alanlardaki su yayılımını ve sucul bitki örtüsünü izlemek için NDWI'yi kullanmış ve bu indeksin sulak alan haritalama ve çevresel değişim izleme için kullanışlılığını göstermiştir. NDWI'nin diğer indekslerle birlikte kullanılması, hidrolojik değişim tespit haritalamasında ve rezervuarların izlenmesinde önemli olmuştur ve bu endekslerin sulak alan unsurlarının elde edilmesinde ve su miktarı ve kalitesinin değerlendirilmesindeki önemini altını çizmektedir (Rawat vd., 2021).

Klasik hidrojeoloji çalışmalarının yanı sıra coğrafi bilgi sistemlerinin (CBS) kullanılması, su kaynaklarının kirlenmesine neden olan faktörleri ve etki alanlarını belirlemede önemli bir rol oynar. Bu yaklaşım, noktasal verileri geniş alanlardaki su kalitesini izlemek için kullanışlı hale getirir (Başibüyük vd., 2020; Tona vd., 2022). Bunun yanı sıra teknoloji su alanlarının haritalanması ve bu süreçlerin takip edilmesinde başarılı bir şekilde kullanılmaktadır (Kaya ve Kaplan, 2021).

Bu çalışmanın amacı, Burdur Gölü'nün su yüzey alanı üzerindeki mekansal farklılıkları araştırmak ve Burdur Gölü Havzası'ndaki uzun dönem iklim kayıtlarındaki (1985-2021) eğilimleri analiz ederek göl yüzey alanının gelecekteki durumu hakkında tahminler yapmaktır. Literatürde Burdur Gölü'ne yönelik yapılan araştırmalar, genellikle sınırlı veri setleri veya tek bir yöntemle

gerçekleştirilmiştir. Ancak bu çalışmada, Landsat 4-5 ve Landsat 8 uydu görüntülerinden elde edilen verilere dayanarak NDWI, mNDWI ve WI2015 gibi su indekslerinin birlikte kullanılmasıyla farklı yöntemler karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir.

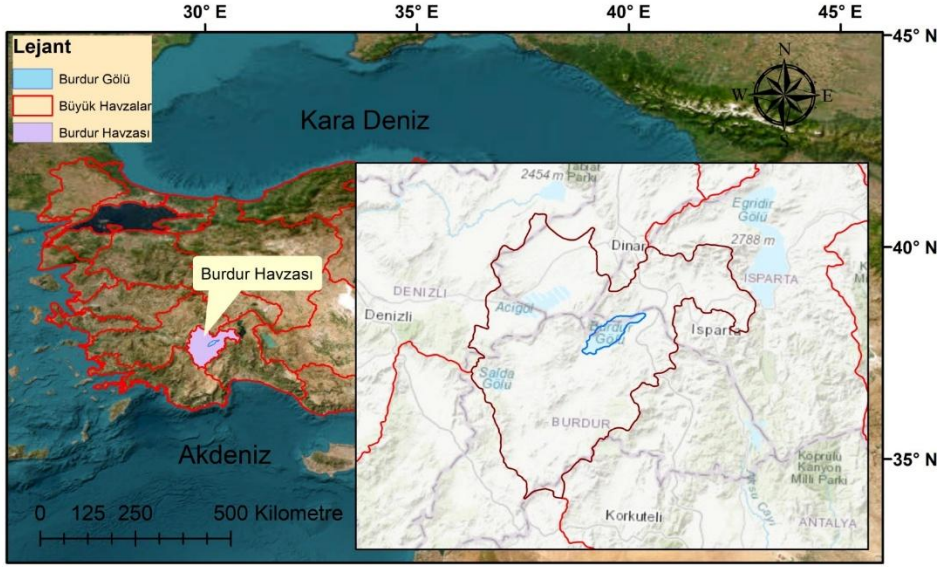
Bu bağlamda, WI2015 su indeksinin Burdur Gölü özelindeki ilk kapsamlı uygulaması gerçekleştirilmiş, bu indeksten elde edilen sonuçların doğruluğu referans gözlem verileriyle karşılaştırılarak yöntemler arasında en başarılı olan belirlenmiştir. Ayrıca, uzun yıllık veriler kullanılarak gölün gelecekteki durumu ile ilgili tahminler yapılmıştır. Daha önceki çalışmalar yalnızca kısa dönemli eğilimleri veya göl çevresindeki belirli parametreleri ele alırken, bu çalışma, uzun dönemli iklim eğilimlerini ve su yüzey alanı değişimlerini entegre eden kapsamlı bir analiz sunmaktadır.

2. Çalışma Alanı

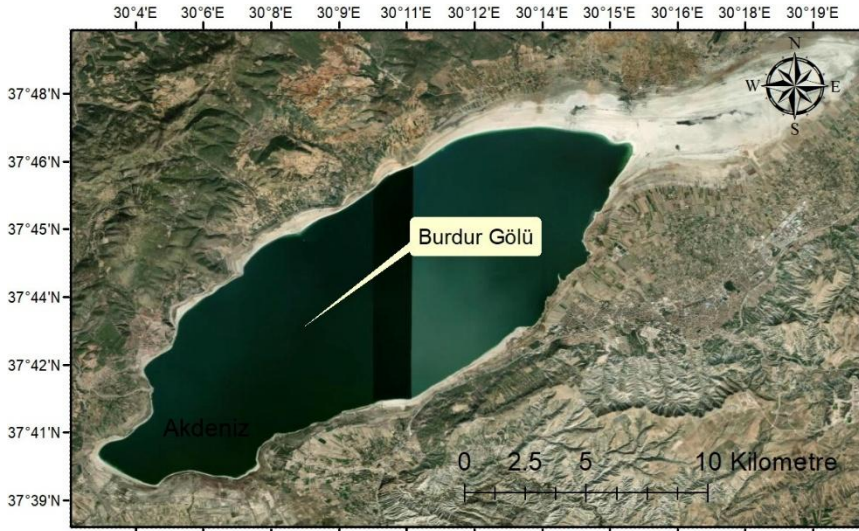
Burdur Gölü, Türkiye'nin güneybatısında yer alan Isparta ve Burdur illeri arasında bulunmaktadır. Bu göl, tektonik kökenli ve alkali bir yapıya sahiptir ve suyu tuzludur. Ayrıca, göl çevresindeki sulak alanlar, birçok farklı kuş türü için önemli bir yaşam alanı sağlamaktadır. Burdur Havzası'nın en düşük noktasında yer alan Burdur Gölü, deniz seviyesinden 844.3 metre yükseklikte bulunmaktadır. Güneybatı Anadolu'da, 29°24' ile 30°53' doğu boylamları ve 36°53' ile 37°50' kuzey enlemleri arasında yer alan bölge, yaklaşık olarak 3264 km²'lik bir alanı kapsamaktadır (Şener ve Şener, 2021).

Gölün güneybatısı ile kuzey doğusundaki düzlük alanlar ise 850 ile 1000 metre arasındadır. (Ataol, 2010; Yiğitbaşıoğlu ve Uğur, 2010).

Çalışma alanının havza sınırları Şekil 1'de gösterilmiş olup, uydu görüntüsü ise Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 1. Burdur Gölü havzası.



Şekil 2. Burdur gölüne ait uydu görüntüsü (Google Earth, 2024).

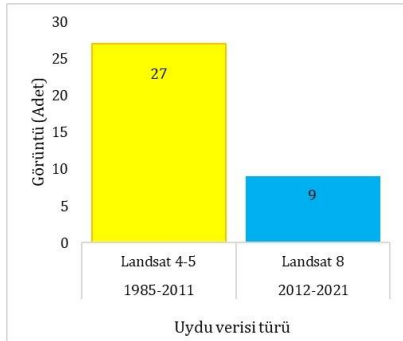
Burdur Gölü ve çevresi, Ramsar Sözleşmesi kapsamına alınan Türkiye'nin 19 önemli sulak alanından

biridir (Yiğitbaşıoğlu ve Uğur, 2010; Sabuncu, 2020). Bu sözleşme kapsamına alınmasına ve birçok kuş türü için

önemli bir sulak alan olmasına rağmen, koruma-kullanma dengesinin yüksek oranda bozulduğu ve bilinçsiz kullanımın ekolojik etkilenmeyi olumsuz bir şekilde etkilediği görülmüştür (Çetin vd., 2013).

3. Veri

Çalışma kapsamında, Burdur Gölü'ndeki arazi değişimlerini 1985 ile 2021 yılları arasında incelemek için Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırmalar Kurumu'nun (USGS) Landsat uydu görüntülerinden faydalanılmıştır (Landsat, 2024, Öztaş vd., 2023). Şekil 3'te, 1985 ile 2021 arası tarihlerdeki Landsat uydu görüntüleri ile ilgili bilgiler bulunmaktadır.



Şekil 3. Landsat uydu görüntülerine ait bilgiler.

Şekil 3 incelendiğinde Landsat 4-5 uyduları 1985 ile 2011 arasında kullanıldığı, 2011-2021 arası için tercih edilen görüntülerin Landsat 8 uydusu olduğu görülmektedir. Landsat 4-5'in kullanım ömürlerinin dolması ve teknik yetersizliklerin başlaması nedeniyle 2011 sonrası dönemde bu uyduların kullanımı sona ermiştir. Landsat 8, daha modern bir uydu olarak devreye alınarak veri devamlılığı sağlanmıştır.

Veriler özellikle bulutluluk oranının %10'un altında olduğu zaman dilimlerindeki aylarda (Haziran, Temmuz ve Ağustos) elde edilmiştir. Ancak; 2008, 2012 ve 2021 yılları için bu kriterlere uygun verilere ulaşılamamıştır.

4. Yöntem

Burdur Gölü'nün gelecek yıllar içerisindeki değişimini incelemek için su indisleri ve kontrollü sınıflandırma içeren iki farklı yöntem kullanılmıştır.

4.1. Su Yüzeylerinin Farklı Su İndisleriyle Belirlenmesi

Suyun kendine özgü spektral imzası, elektromanyetik spektrumun görünür bölgesinde güçlü yansıma yaparken, kızılötesi dalga boylarında yutulma gerçekleştirmesidir. Optik uzaktan algılama görüntülerinden su alanlarının çıkarılması için birçok yöntem suyun spektral imzasına dayalı olarak geliştirilmiştir. Basit bir yöntem olarak bir su haritasının üretilmesi için tek bir kızılötesi band görüntüsünde yoğunluk ayrımı yapılabilmektedir (Frazier and Page, 2000).

Bu çalışmada kullanılan su indislerinden NDWI, yeşil ve yakın kızılötesi bandları farklarının ve toplamalarının oranlanmasıyla hesaplanmaktadır (McFeeters, 1996). Kısa dalga kızılötesi bölgesinin su özelliklerini daha iyi yansıtması, sonraki yıllarda indis formülünde yakın kızılötesi bant yerine kısa dalga kızılötesi bandın tercih edilmesine yol açmıştır. Geliştirilen bu indis mNDWI olarak isimlendirilmiştir

(Xu, 2006). mNDWI indisine ait sınırlamalardan biri kar ve su yüzeylerini birbirinden ayıramamasıdır (Huang vd., 2018). Aşağıda bu indislere ait bant denklemleri yer almaktadır.

$$NDWI = \frac{(\text{Yeşil} - \text{Yakın kızılötesi})}{(\text{Yeşil} + \text{Yakın kızılötesi})} \quad (1)$$

$$mNDWI = \frac{(\text{Yeşil} - \text{Kısa dalga kızılötesi})}{(\text{Yeşil} + \text{Kısa dalga kızılötesi})} \quad (2)$$

Su indisleri kullanımında kara-su ayrımı için eşik değerin belirlenmesi önemlidir. Çoğunlukla bu indislerde 0 üzeri değerler su bulunan alanları belirtmektedir. Fakat yakın bölgelerde farklı su kütlesinin askıda katı madde içeriği, alg içeriği, derinliği ve bulanıklığı gibi özellikleri eşik değerinin seçilmesinde her su kütlesine özgü eşik değeri belirlenmesini gerektirebilmektedir. Görünür, yakın kızılötesi ve kısa dalga kızılötesi bandlarındaki yüzey yansımalarından doğrusal diskriminant analizi kullanarak WI2015 (Su indisi-Water Indis)'i geliştirilmiş ve diğer bazı mevcut su indisleriyle kabaca eşit verimliliğe sahip olduğu belirtilmektedir (Fisher vd., 2016; Huang vd., 2018).

$$WI2015 = 1,7204 + 171 * \text{Yeşil} + 3 * \text{Kırmızı} - 70 * \text{Yakın kızılötesi} - 45 * \text{Kısa dalga kızılötesi} - 71 * \text{Kısa dalga kızılötesi} \quad (3)$$

Bu çalışmada göl yüzey alanlarının tespitinde NDWI, mNDWI ve WI2015 su indisleri kullanılmıştır.

4.2. Kontrollü Sınıflandırma

Görüntü sınıflamanın en önemli aşamalarından birisi özellik uzayındaki bölümlendirme. Kontrollü sınıflamada, özellik uzayındaki sınıfların ayrımı işlemi kullanıcı tarafından yapılır. Arazi çalışmaları ile doğrudan veri toplanamadığı durumlarda ise harita veya diğer kaynaklar üzerinden yeryüzü nesneleri hakkında elde edilen veriler kullanılarak analiz gerçekleştirilir (Tona, 2016). Kullanıcı alıştırma kısmında spektral özelliklerine göre sınıfları tanımlar. Kontrollü sınıflamada, analizcinin çalıştığı sahayı önceden bildiği varsayılır. Dolayısıyla analizci, sınıfların nerelerde yayılış gösterdiğini bilmesi gereklidir. Seçilen kümelerin belirlenen sınıfları iyi tanımlaması gerekmektedir. Sınıflar için belirlenen kümeler, özellik uzayında kısmen çakışmalıdır (Gülçin, 2018).

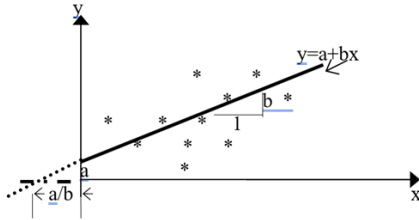
4.3. Gelecek Tahmini

Basit doğrusal regresyon modeli, yalnızca bir bağımsız değişken ile bağımlı değişken arasında doğrusal (lineer) bir ilişki bulunduğunda, bu ilişkiyi kullanarak bağımlı değişkenin tahmin edilmesi için kullanılan bir yöntemdir. Basit doğrusal regresyonun denklemi aşağıda verilmiştir (Yagbasan vd., 2020).

$$y = a + bx \quad (4)$$

Burada; y: bağımlı değişken, x: bağımsız değişken, a ve b ise regresyon katsayılarını ifade eder. x ve y değerleri bir koordinat sisteminde noktalandığında noktalar bir doğru

etrafında yayılıyorsa bu değişkenler arasında doğrusal bir ilişkinin var olduğu düşünülür (Şekil 4).



Şekil 4. Değişkenler arasındaki ilişki.

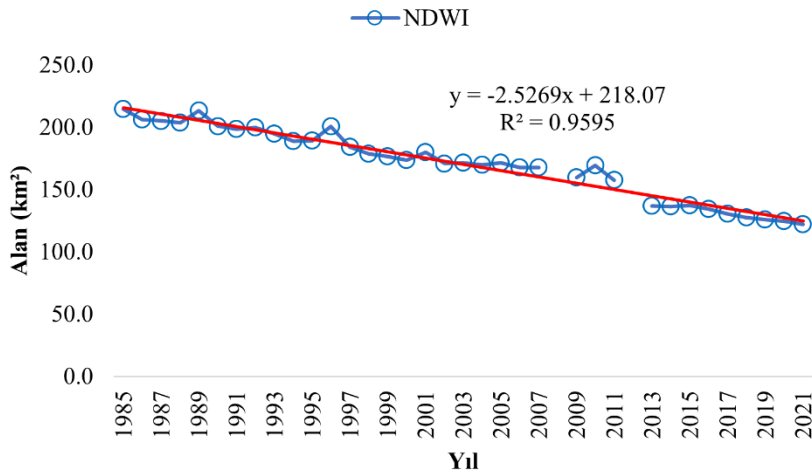
İkinci aşamada ise elde edilen regresyon denklemi içine x değişkeni olan yıl bilgileri girilerek lineer ilişkideki göl seviyeleri tahmin edilmiştir. Seviyenin sıfırın altına düştüğü bölgede ise enterpolasyon yapılarak tahmini göl yüzeyinin kuruma yılı belirlenmiştir.

5. Bulgular

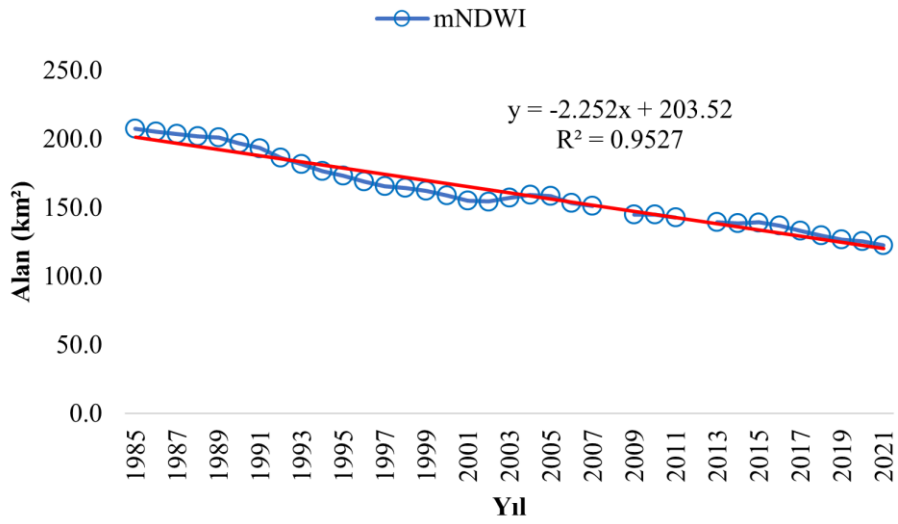
Bu çalışmada, Burdur Gölü'ndeki yüzey alanındaki değişimleri incelemek için toplam 36 adet Landsat 4, 5 ve 8 uydu görüntüsü kullanılmıştır. Bu görüntüler, gölü tamamen çevreleyecek biçimde sağlanmış olup, herhangi bir ön işleme

ya da birleştirme yapılmamıştır. Şekil 5-8 arasında Burdur Gölünün 1985-2021 yılları arasında zamana göre alan değişim grafikleri verilmiştir. Bu şekiller arasındaki farklılıklar kontrollü sınıflandırma örneklem verilerine ve bant kombinasyonlarına (Denklem 1-3) göre değişmektedir.

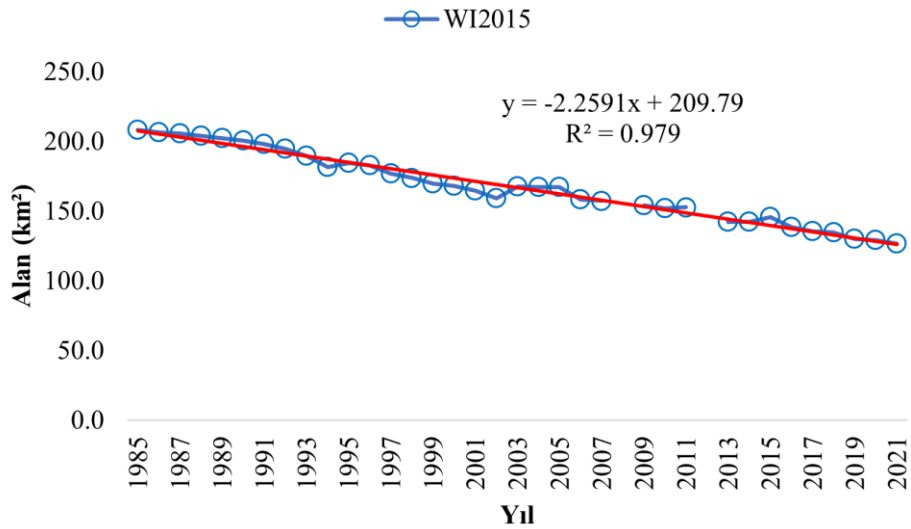
Şekil 5-8 incelendiğinde göl yüzey alanındaki azalma 81.7 km² ile (WI2015) 92.3 km² (NDWI) arasındadır. Şekillerde yer alan determinasyon kat sayısı (R²) değerinin 1'e en yakın olduğu grafikler azalan yönde bir eğilimin doğrusal olarak gittiğini göstermektedir. Bu kapsamda azalan doğrusal ilişki en yüksek mertebe ile WI2015 yönteminde görülmektedir., en az doğrusal ilişkiyi ise kontrollü sınıflandırma yöntemine ait grafikte görülmektedir (Şekil 8). Bu doğrusal gösterge denklem uygunluğunun bir göstergesi olup göl yüzey alanının matematiksel olarak ifade edilebilirliğini göstermektedir.



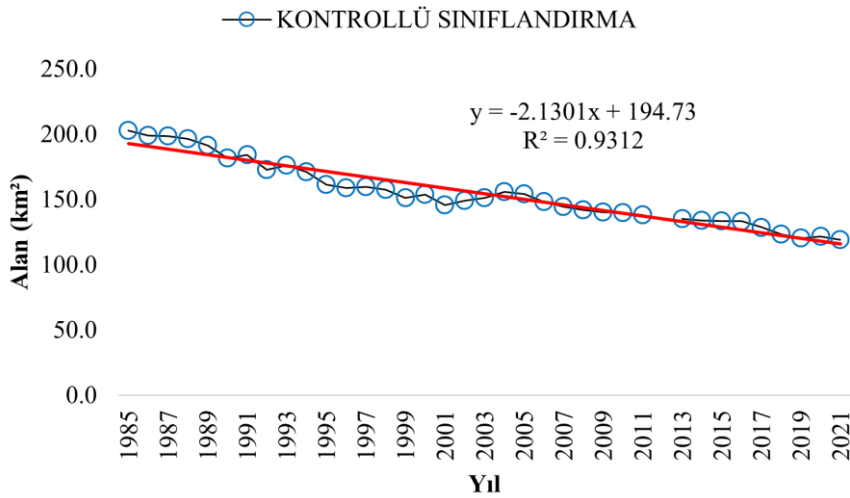
Şekil 5. Burdur Gölü NDWI verilerine göre alanlar.



Şekil 6. Burdur Gölü mNDWI verilerine göre alanlar.



Şekil 7. Burdur Gölü WI2015 verilerine göre alanlar.



Şekil 8. Burdur Gölü kontrollü sınıflandırma verilerine göre alanlar.

Çalışmada özellikle doğrusal ilişki denklemlerinin avantajı doğrusal olmayan polinom ve dereceli denklemlerde azalan eğilimin bir anda doğrusal olmayan denklem yapısına göre azalmayacağı yönünden tahminler vermesidir. Bu da matematiksel olarak kabul edilse de bölgedeki geçmiş verilere dayalı eğilim göz önüne alındığında kabul edilebilirliği oldukça düşüktür. Bu nedenle sadece eğilimi yüksek determinasyon katsayısı ile veren doğrusal denklemler ile gelecek tahmini gerçekleştirilmiştir.

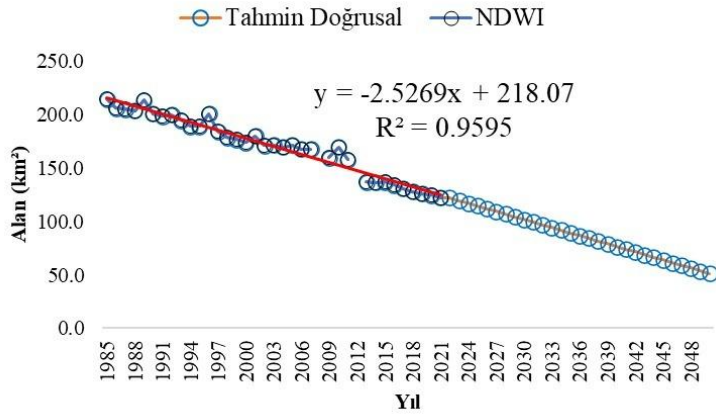
Göl yüzey alanı değişimlerinin incelenmesinden sonra gelecek yıllarda değişimini ve tahmini olarak regresyon denklemlerinin zaman ekseninde uzatılması sonucu elde edilmiştir (Şekil 9-12).

Şekil 9'da, Burdur Gölü'nün NDWI verilerine göre 2070 yılında kuruyacağı tahmin edilmektedir.

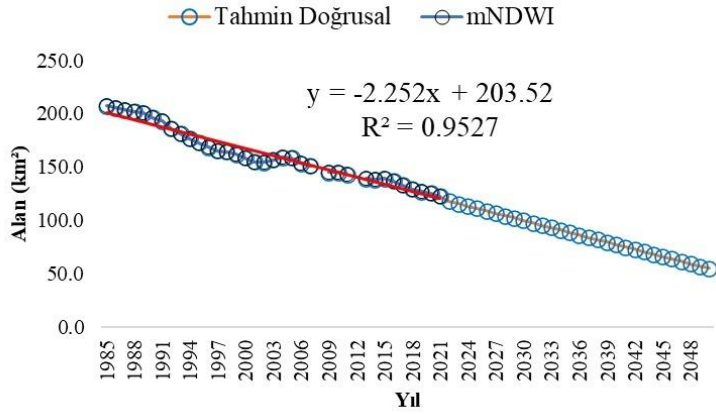
Şekil 10'da, Burdur Gölü'nün mNDWI verilerine göre 2074 yılında kuruyacağı tahmin edilmektedir.

Şekil 11'de, Burdur Gölü'nün WI2015 verilerine göre 2077 yılında kuruyacağı tahmin edilmektedir.

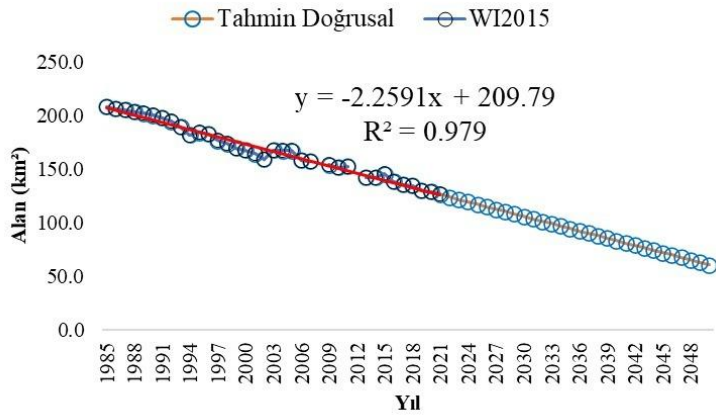
Şekil 12'de, Burdur Gölü'nün kontrollü sınıflandırma verilerine göre 2075 yılında kuruyacağı tahmin edilmektedir. Bu tahminler için ayrıca üstel, logaritmik ve polinomal fonksiyonlar denenmiş fakat göl yüzey alanlarında azalan eğilime uymayan artışlar veya daha düşük determinasyon katsayılarının tespiti nedeniyle sadece indislere ve kontrollü sınıflandırmaya ait doğrusal denklem sonuçları karşılaştırılmıştır. Elde edilen bulgular ayrıca Devlet Su İşleri (DSİ) verileriyle (göl yüzey alanı km²) karşılaştırılmıştır (Pınarlık, 2023). Bu veriler referans verisi olarak bu çalışmada kabul edilmiştir. Burdur Gölü yüzey alanının değişim grafiğine ait karşılaştırma Şekil 13'te yer almaktadır.



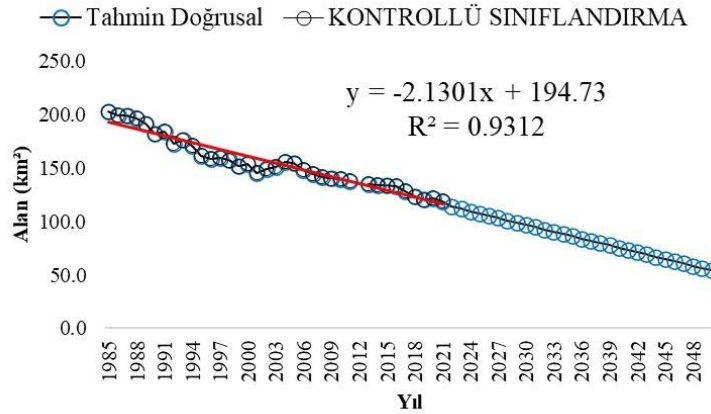
Şekil 9. NDWI gelecek yıl doğrusal regresyon tahmini.



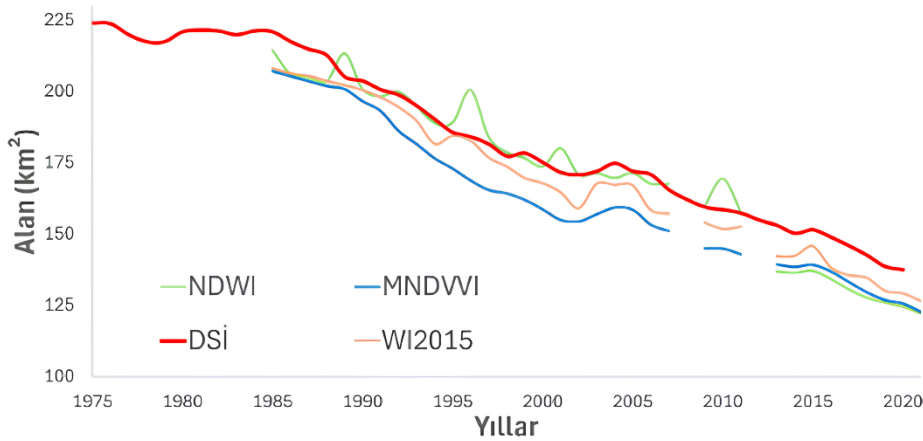
Şekil 10. mNDWI gelecek yıl doğrusal regresyon tahmini.



Şekil 11. WI2015 gelecek yıl doğrusal regresyon tahmini.



Şekil 12. Kontrollü Sınıflandırma gelecek yıl doğrusal regresyon tahmini.



Şekil 13. Sonuçların karşılaştırılması.

Şekil 13 incelendiğinde, 1975-2020 yıllarına ait göl yüzey alanı değişimini karşılaştırmalı olarak göstermektedir. Çalışmada yöntemler, öncelikle yöntem/indis ile DSİ verileri arasındaki korelasyon katsayıları karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Farklı alan elde etme yöntemlerinin DSİ verileriyle uyumunu ifade eden korelasyon katsayılarını göstermektedir. En yüksek korelasyon katsayısı 0.9946 ile mNDWI yöntemi tarafından elde edilmiştir, bu da DSİ

verileriyle en güçlü ilişkiye sahip olduğunu göstermektedir. WI2015 yöntemi, 0.9923'lük korelasyon katsayısıyla mNDWI'ı takip etmekte ve oldukça yüksek bir uyum sunmaktadır. Kontrollü Sınıflandırma yöntemi ise 0.9911'lik korelasyon katsayısıyla üçüncü sırada yer alırken, NDWI yöntemi 0.9614'lük değeriyle diğer yöntemlere göre daha düşük bir uyum göstermektedir. Genel olarak tüm yöntemler, DSİ verileriyle yüksek bir

ilişki sergilemektedir, ancak en iyi performans mNDWI yöntemi ile sağlanmıştır. Yöntemlere ait hata

kriterlerinin karşılaştırılması Tablo 1'de yer almaktadır.

Tablo 1. Yöntemlere ait hata kriterlerinin karşılaştırılması.

Kriter/yöntem	NDWI	mNDWI	WI2015	Kontrollü Sınıflandırma
OMH	6.8971	13.1953	7.0554	19.6581
GOMH	4.2386	7.7471	4.1711	11.415
KOKH	9.0367	13.4788	7.7147	19.9152

Çalışmada farklı alan elde etme yöntemlerinin hata metrikleri incelenmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. NDWI yöntemi, tüm hata metriklerinde düşük değerlere sahip olup, özellikle Göreceli Ortalama Mutlak Hata (GOMH) değeri 4.2386 ile en iyi performansı göstermiştir. mNDWI yöntemi ise Ortalama Mutlak Hata (OMH) ve Kök Ortalama Kare Hatası (KOKH) değerlerinde sırasıyla 13.1953 ve 13.4788 ile yüksek hata oranlarına sahiptir, bu da yöntemin doğruluğunun diğerlerine kıyasla düşük olduğunu göstermektedir. WI2015 yöntemi, OMH (7.0554) ve GOMH (4.1711) gibi düşük hata değerleriyle dikkat çekerek güvenilir bir yöntem olduğunu kanıtlamaktadır. Buna karşın, Kontrollü Sınıflandırma yöntemi, tüm hata metriklerinde en yüksek değerlere ulaşmış (OMH: 19.6581, GOMH: 11.415, KOKH: 19.9152) ve doğruluk açısından diğer yöntemlerden daha düşük performans göstermiştir. Genel olarak, NDWI ve WI2015 yöntemleri daha düşük hata oranlarıyla öne çıkarken, mNDWI ve Kontrollü Sınıflandırma yöntemleri daha az güvenilir sonuçlar üretmiştir.

4. Tartışma

Çalışmanın temel bulgusu Burdur göl yüzey alanının zaman içerisinde önemli ölçüde azalma göstermesidir. Bu durum çalışmada kullanılan tüm yöntemlerde ve literatür çalışmalarında görülmektedir. Örneğin; Oğuz ve Tuğluer (2022), Burdur Gölü'nün son 50 yılda %44 oranında yüzey alanı kaybına uğradığını belirtirken, Alevkayalı vd. (2023) ise gölün önümüzdeki 10 yıl içinde 17 km² daha daralacağını öngörmüştür. Peker vd. (2023) ve Pınarlık vd. (2023) tarafından yapılan analizler de göl yüzey alanındaki azalma eğilimini doğrulamaktadır. Bu bulgular, çalışmamızda elde edilen 92.3 km²'ye kadar ulaşan (1985-2021) yüzey alanı azalmasıyla uyumlu olup, Burdur Gölü'nün su yüzey alanındaki kayıpların sürdüğünü göstermektedir. Kontrollü sınıflandırmada sınıflandırma performansı yöntemi kullanan araştırmacının tecrübesine bağlı olduğu için dez avantajlı ve göreceli iken uygulama açısından index yöntemlerine göre daha pratiktir. İndis yöntemleri kendi aralarında karşılaştırıldığında NDWI ve mNDWI yöntemleri 2 bant kullanırken WI2015 yöntemi 5 bant

kullanılmaktadır. Bu açıdan NDWI ve mNDWI yöntemleri uygulama açısından pratikken, WI2015 yöntemi daha zaman alıcı ve diğer bant algılayıcıların mevcudiyeti nedeniyle maliyetlidir. Maliyet ve zaman ikinci plana atılıp, çalışmadaki performans kriterleri bir bütün olarak değerlendirildiğinde WI2015 indeksinin daha başarılı olduğu ve gölün yaklaşık olarak 2070-2080 yılları arasında tamamen kuruyabileceğini öngörmektedir. Gölün kuruması, bu bölgenin su kaynaklarının kullanımı açısından büyük problem oluşturabilir ve bu durumda ekonomik ve çevresel sorunlara sebep olabilir. Bu nedenle, iklim değişikliği ile mücadele önlemleri ve su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi bu bölgede öncelikli olarak dikkate alınması gereken konulardan olmalıdır. Bu değerlendirmeler, Burdur Gölü'nün başlangıçta su kuşları olmak üzere endemik bitki ve balık türlerine ev sahipliği yapan canlı popülasyonunda azalmaya yol açabileceğini göstermektedir. Göl seviyesindeki değişimlerin yalnızca ekolojik değil, aynı zamanda sosyal ve ekonomik etkiler yaratması beklenmektedir. Tarımsal verimliliğin azalması, artan yeraltı suyu kullanımı talebiyle birlikte yeraltı suyu çekim maliyetlerinin yükselmesi gibi sorunlar da ortaya çıkabilir.

5. Sonuçlar

Bu çalışmada, 1985-2021 yılları arasına ait uydu görüntüleri kullanılarak Burdur Gölü'nün su alanında gerçekleşen değişimlerin tespit edilmesi amaçlanmıştır. WI2015, NDWI, mNDWI

gibi indeks teknikleri kullanılarak, kontrollü sınıflandırma yöntemleri ve elde edilen sonuçlar, kontrol verileriyle karşılaştırılarak doğruluk değerlendirmesi yapılmış ve yöntemlerin performansı detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. Ayrıca, göl seviyesinin gelecekteki değişimlerini tahmin etmek için regresyon modelleri kullanılmıştır. Burdur Gölü'nün su alanı 1985 yılından 2021 yılına kadar büyük ölçüde azaldığı belirlenmiştir. Yapılan doğrusal regresyon grafiklerinde 2070-2080 arasında kuruyacağı tahmin edilmektedir.

Çalışmada yöntemler hem DSI verileriyle, korelasyon katsayıları hem de hata metrikleri açısından karşılaştırılmıştır. Korelasyon katsayılarına göre, mNDWI yöntemi, 0.9946 ile en yüksek uyumu göstermiş ve en başarılı yöntem olarak öne çıkmıştır. Ancak hata metriklerine bakıldığında, mNDWI'nın özellikle OMH: 13.1953 ve KOKH: 13.4788 açısından yüksek değerlere sahip olduğu görülmektedir, bu da hata düzeyinin diğer yöntemlere göre daha yüksek olduğunu göstermektedir.

Hata metriklerinde en düşük değerlere sahip yöntemler ise NDWI ve WI2015 olmuştur. NDWI, özellikle GOMH: 4.2386 ile öne çıkarken, WI2015 yöntemi de düşük hata değerleri ve 0.9923'lük yüksek korelasyon katsayısıyla güvenilir bir alternatif olarak dikkat çekmektedir. Kontrollü Sınıflandırma yöntemi ise hem yüksek hata değerleri hem de nispeten daha düşük korelasyon katsayısıyla diğer yöntemlere göre daha az başarılı bulunmuştur.

Bu çalışmanın sınırları, geleceğe yönelik tahminlerin doğrusal regresyon yöntemine dayanması, indislerin başarısının referans verileri ile elde edilen hata kriterleri ve korelasyon katsayısı temel alınarak değerlendirilmesi ve Landsat uydu görüntülerinin kullanılmasıyla belirlenmiştir.

Sonuç olarak, yöntemlerin başarı düzeyi veri analizi amacına bağlı olarak değişmektedir. Eğer yüksek uyum (korelasyon) öncelikli bir kriter ise, mNDWI yöntemi tercih edilebilir. Ancak hata oranlarının düşük olması daha önemliyse, NDWI veya WI2015 yöntemleri daha güvenilir seçenekler olarak öne çıkmaktadır. Genel değerlendirmede hem korelasyon katsayısı hem de hata metrikleri açısından dengeli bir performans sergileyen WI2015 yöntemi en başarılı yöntem olarak değerlendirilebilir.

Etik Standartlar Bildirgesi

Yazarlar tüm etik standartlara uyduklarını beyan ederler.

Yazarlık Katkı Beyanı

- Yazar 1: Uygulama, makale yazımı, sonuçların yorumlanması.
Yazar 2: Makale yazımı, sonuçların yorumlanması ve revizyon.
Yazar 3: Kurgu, Makale Yazımı.
Yazar 4: Literatür araştırması, sonuçların yorumlanması.

Çıkar Çatışması Beyanı

Çalışmada herhangi bir çıkar çatışması mevcut değildir.

Verilerin Kullanılabilirliği

Bu çalışma sırasında oluşturulan veya analiz edilen tüm veriler, yayınlanan bu makaleye dahil edilmiştir.

Teşekkür

Bu çalışma 2022-1 dönemi 1919B012201346 başvuru numaralı 2209-A (Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destek Programı) kapsamında desteklenmektedir. Ayrıca, KTO Karatay Üniversitesi BAP Komisyonu tarafından da (Proje no: 10112438) desteklenmiştir.

6. Kaynaklar

- Ahi, S., & Eymen, A. (2021). Examine of the Impact of Land Use on Water Basins Using Geographical Information Systems and Remote Sensing: Terkos Basin Example. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 46, 15-20.
- Aktürk, G., Çıtakoğlu, H., Demir, V., & Beden, N. (2024). Meteorological drought analysis and regional frequency analysis in the Kızılırmak Basin: creating a framework for sustainable water resources management. *Water*, 16(15), 2124.
- Aküzüm, T., Çakmak, B., & Gökalp, Z. (2010). Türkiye'de su kaynakları yönetiminin değerlendirilmesi. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, (1), 67-74.
- Alevkayalı, Ç., Atayeter, Y., Yayla, O., Bilgin, T., & Akpınar, H. (2023). Burdur Gölü'nde uzun dönemli kıyı çizgisi değişimleri ve iklim ilişkisi: Zamansal-mekânsal eğilimler ve tahminler. *Türk Coğrafya Dergisi*, (82), 37-50.
- Ataol, M. (2010). Burdur Gölü'nde Seviye Değişimleri. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 8(1), 77-92.
- Başıbüyük, Z., Ekincioğlu, G., & Yavaşlı, D. (2020). Seyfe Gölü çevresinin

- (Kırşehir) yeraltı suyu kalitesinin coğrafi bilgi sistemleri (CBS) kullanılarak belirlenmesi. *Aksaray University Journal of Science and Engineering*, 4(1), 77-89.
- Beyhan, M., Şahin, Ş., Keskin, M., & Harman, B. (2009). Burdur Gölü Uzun Periyotlu Seviye Değişiminin Su Kalitesi ve Ağır Metaller Üzerindeki Etkisi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11(2).
- Blackmore, D. (2000). Managing for scarcity: water resources in the Murray-Darling Basin. [Edited highlights of The Murray-Darling Basin Cap on Diversions-Policy and Practice for the New Millennium. *CEDA Bulletin*, 50-53.
- Butt, S. E., Rodríguez, A., Sotiropoulos, J. M., & Moran, W. J. (2022). Computational study on the iodobenzene-catalyzed oxidative cyclization of a δ -alkynyl β -ketoester. *ARKIVOC-Online Journal of Organic Chemistry*, 2022, 19-26.
- Campbell, J. B., & Wynne, R. H. (2011). Introduction to remote sensing. *Guilford press*.
- Çetin, A., Erdoğan, N., & Genç, H. (2013). Flora of the Burdur lake surroundings (Türkiye). *Biological Diversity and Conservation*, 6, 2: 55-76.
- Chauhan, K., Patel, J., Shukla, S. H., & Kalubarme, M. H. (2021). Monitoring water spread and aquatic vegetation using Spectral Indices in Nalsarovar, Gujarat State-India. *International Journal of Environment and Geoinformatics*, 8(1), 49-56.
- Citakoglu, H., & Coşkun, Ö. (2022). Comparison of hybrid machine learning methods for the prediction of short-term meteorological droughts of Sakarya Meteorological Station in Turkey. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(50), 75487-75511.
- Coşkun, Ö., & Citakoglu, H. (2023). Prediction of the standardized precipitation index based on the long short-term memory and empirical mode decomposition-extreme learning machine models: The Case of Sakarya, Türkiye. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 131, 103418.
- Crist, E. P. (1985). A TM tasseled cap equivalent transformation for reflectance factor data. *Remote sensing of Environment*, 17(3), 301-306.
- Demir, V. (2022). Enhancing monthly lake levels forecasting using heuristic regression techniques with periodicity data component: application of Lake Michigan. *Theoretical and Applied Climatology*, 2015. <https://doi.org/10.1007/s00704-022-03982-0>.
- Domenikiotis, C., Loukas, A., & Dalezios, N. R. (2003). The use of NOAA/AVHRR satellite data for monitoring and assessment of forest fires and floods. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 3(1/2), 115-128.
- Duplančić Leder, T., Leder, N., & Baučić, M. (2020). Application of satellite imagery and water indices to the hydrography of the Cetina River Basin (Middle Adriatic). *Transactions on maritime science*, 9(02), 374-384.
- Fisher, A., Flood, N., & Danaher, T. (2016). Comparing Landsat water index methods for automated water classification in eastern Australia. *Remote Sensing of Environment*, 175, 167-182.
- Frazier, P. S., & Page, K. J. (2000). Water body detection and delineation with Landsat TM data. *Photogrammetric*

- engineering and remote sensing, 66(12), 1461-1468.
- Google Earth, (2024). <https://earth.google.com/>, Erişim Tarihi: 10.04.2024.
- Gülçin, D. (2018). Arazi kullanımlarının sınıflandırılmasında piksel ve obje tabanlı sınıflandırmanın karşılaştırılması. *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 15(2), 43-49.
- Huang, C., Chen, Y., Zhang, S., & Wu, J. (2018). Detecting, extracting, and monitoring surface water from space using optical sensors: A review. *Reviews of Geophysics*, 56(2), 333-360.
- Işıldar, H. T., & Ercoşkun, Ö. Y. (2021). Göller Yöresinde sürdürülebilirlik ve dirençlilik. *Journal of Management Theory and Practices Research*, 2(2), 89-116.
- Karabulut, M. (2015). Farklı Uzaktan Algılama Teknikleri Kullanılarak Göksu Deltası Göllerinde Zamansal Değişimlerin İncelenmesi. *Journal Of International Social Research*, 8(37).
- Kaya, Ö. A., & Kaplan, G. (2021). Uzaktan Algılama Yöntemleri ile Burdur Gölü'ndeki Alansal Değişiminin Belirlenmesi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 7(1), 1-12. <https://doi.org/10.21324/dacd.760805>.
- Kurttaş, T., ve Tezcan, L. (2018). Nemrut kaldera göllerinin su kaynakları potansiyeli. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22(2), 823-831.
- Landsat (2024). Burdur Gölü. USGS. <https://earthexplorer.usgs.gov/> Erişim Tarihi: 10.04.2024.
- Latifoğlu, L., Bayram, S., Aktürk, G., & Citakoglu, H. (2024). Drought index time series forecasting via three-in-one machine learning concept for the Euphrates basin. *Earth Science Informatics*, 1-58.
- McFeeters, S. K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International journal of remote sensing*, 17(7), 1425-1432.
- Nhamo, L., Magidi, J., & Dickens, C. (2017). Determining wetland spatial extent and seasonal variations of the inundated area using multispectral remote sensing. *Water Sa*, 43(4), 543-552.
- Oğuz, H., & Tuğluer, M. (2022). Burdur Gölünün Son 50 Yıldaki Değişimi, *1st International Conference on Scientific and Academic Research*, Konya, Turkey.
- Ozesmi, S. L., & Bauer, M. E. (2002). Satellite remote sensing of wetlands. *Wetlands ecology and management*, 10, 381-402.
- Öztaş, A., Tona, A. U., & Demir, V. (2023). Burdur Gölü Yüzey Alanı Değişiminin Kontrolsüz Sınıflandırma Kullanılarak Belirlenmesi, *International Aegean Conferences On Innovation Technologies & Engineering-VIII*, İzmir, Turkey.
- Pamuk, G., Özgürel, M., & Topçuoğlu, K. (2004). Standart yağış indisi (SPI) ile Ege bölgesinde kuraklık analizi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 41(1).
- Peker, E. A., Sağır, Ç., Yılmaz, K. K., & Süzen, M. L. (2023). Burdur Gölü Yüzey Alanının Zamansal Değişimi ve İklimsel Parametrelerle İlişkisi, *Ulusal Hidrojeoloji ve Su Kaynakları Sempozyumu*, KTÜ, Trabzon.
- Pınarlık, M., İbiş, A., & Selek, Z., (2023). İklim Değişikliği Etkisi Altında Burdur Gölü Su Seviyesi Değişimlerinin İstatistiksel Olarak İncelenmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 11(1).
- Rawat, S. K., Negi, S., Upreti, H., & Kumar, M. (2021). A non-Fourier's and non-Fick's approach to study MHD

- mixed convective copper water nanofluid flow over flat plate subjected to convective heating and zero wall mass flux condition. *International Journal of Applied and Computational Mathematics*, 7, 1-27.
- Roberts, N., Karabıyıklıoğlu, M., Jones, M., Mather, A., Jones, G., Rodenberg, I., ... & Watkinson, M. (2003). Climatic and tectonic controls over late quaternary sedimentation in the Burdur Lake Basin, Southwest Turkey. In *3rd International Limnogeology Congress*, USA.
- Sabuncu, A. (2020). Burdur Gölü kıyı şeridindeki değişiminin uzaktan algılama ile haritalanması. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20(4), 623-633.
- Şener, E., & Morova, N. (2011). Determination of Water Level Changing of Burdur Lake With Fuzzy Logic and Linear Regression Analysis. *Journal of Natural & Applied Sciences*, 15(1).
- Şener, E., ve Şener, Ş. (2021). SPI ve CZI kuraklık indislerinin CBS tabanlı zamansal ve konumsal karşılaştırması: Burdur Gölü Havzası örneği. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 7(1), 41-58.
- Tona, A. U., Demir, V., Kuşak, L., & Yakar, M. (2022). Su Kaynakları Mühendisliğinde CBS'nin Kullanımı. *Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi*, 4(1), 23-33. <https://doi.org/10.56130/tucbis.993807>.
- Tona, A. U. (2016). Yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinden matematiksel morfoloji yöntemi ile kartografik detay çıkarımı (Master's thesis, *Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*).
- Tudryn, A., Tucholka, P., Özgür, N., Gibert, E., Elitok, O., Kamaci, Z., ... & Platevoet, B. (2013). A 2300-year record of environmental change from SW Anatolia, Lake Burdur, Turkey. *Journal of paleolimnology*, 49, 647-662.
- Xie, H., Luo, X., Xu, X., Pan, H., & Tong, X. (2016). Evaluation of Landsat 8 OLI imagery for unsupervised inland water extraction. *International Journal of Remote Sensing*, 37(8), 1826-1844.
- Xu, H. (2006). Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International journal of remote sensing*, 27(14), 3025-3033.
- Yagbasan, O., Demir, V., & Yazicigil, H. (2020). Trend analyses of meteorological variables and lake levels for two shallow lakes in central Turkey. *Water*, 12(2), 414.
- Yiğitbaşıoğlu, H., & Uğur, A. (2010). Burdur Gölü Havzasında Arazi Kullanım Özelliklerinden Kaynaklanan Çevre Sorunları. *Ankara Üniversitesi Çevre bilimleri Dergisi*, 2(2), 129-143.

Research Article

Advancing BIM Processes for Composite Structural Systems: A Case Study of an Incubation Center in Türkiye

¹Ergi KAHRAMAN, ^{*2}Savaş BAYRAM

¹Erciyes Technopark, Kayseri, Türkiye,

ergikahraman@gmail.com, ORCID ID: <http://orcid.org/0009-0002-2298-7558>

²Erciyes University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Kayseri, Türkiye,

sbayram@erciyes.edu.tr, ORCID ID <http://orcid.org/0000-0002-0153-6750>

Received: 01.11.2024;

Accepted: 27.03.2025

Abstract

The parameters planned for construction projects to be realized in the construction industry are sensitive to cost estimation errors. Developed countries have increased the performance of contractor firms by making the use of BIM technology mandatory to meet the increasing requirements of the construction industry. However, traditional approaches, still used in many countries, are prone to error. This study aims to develop 3D to 5D BIM models for an incubation center project in Türkiye, where BIM technology is not yet mandatory and no official standards have been published. The composite project structure consists of reinforced concrete & steel structural systems. The project has been procured within the scope of Turkish Public Procurement Law. Autodesk Revit and Tekla Structures were used for 3D modeling. The 3D-BIM model at the LOD 400 level was obtained. The obtained quantity data were then processed on the work program, prepared in Primavera P6, and a time and cost schedule were prepared for 52 production items. The 5D-BIM cost simulation was designed via Autodesk Navisworks Manage. The results indicate that the construction cost estimations, which can be obtained by using the 5D-BIM method and financial risk management methodology together, will be beneficial for the tender stakeholders.

Keywords: Composite Structural Systems, Building Information Modeling, 5D-BIM, LOD 400

^{*2}Corresponding author

To cite this article

Kahraman, E., & Bayram, S. (2025). Advancing BIM Processes for Composite Structural Systems: A Case Study of an Incubation Center in Türkiye. *Journal of Innovations in Civil Engineering and Technology (JICIVILTECH)*, 7(1), 49-69. <https://doi.org/10.60093/jiciviltech.1576983>

Kompozit Yapısal Sistemler için BIM Süreçlerinin Geliştirilmesi: Türkiye'deki Bir Kuluçka Merkezi Örneği

Öz

İnşaat sektöründe planlanan parametreler, maliyet tahmin hatalarına karşı hassastır. Gelişmiş ülkeler, inşaat sektörünün artan gereksinimlerini karşılamak için Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) teknolojisinin kullanımını zorunlu hale getirerek yüklenici firmaların başarısını artırmıştır. Ancak, birçok ülkede hala kullanılan geleneksel yaklaşımlar hataya açıktır. Bu çalışma, Türkiye'den bir kuluçka merkezi projesi üzerinde 3B'den 5B'ye BIM modelleri oluşturmayı amaçlamaktadır. Türkiye henüz BIM teknolojisini zorunlu hale getirmemiştir ve yayınlanmış bir standart bulunmamaktadır. Kompozit proje yapısı betonarme ve çelik yapısal sistemlerden oluşmaktadır. Proje, Türk Kamu İhale Kanunu kapsamında ihale edilmiştir. 3D modelleme için Autodesk Revit ve Tekla Structures kullanılmıştır. LOD 400 seviyesinde 3D-BIM modeli oluşturulmuştur. Elde edilen metraj verileri daha sonra Primavera P6'da hazırlanan iş programına işlenmiş ve 52 imalat kalemi için zaman ve maliyet çizelgesi hazırlanmıştır. 5D-BIM maliyet simülasyonu Autodesk Navisworks Manage aracılığıyla tasarlanmıştır. Sonuçlar, 5D-BIM yöntemi ve finansal risk yönetimi metodolojisinin birlikte kullanılmasıyla elde edilebilecek inşaat maliyet tahminlerinin ihale paydaşları için önemli avantajlar sağladığını göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Kompozit Yapı Sistemleri, Yapı Bilgi Modellemesi, 5B-YBM, LOD 400

1. Introduction

Due to poor performance, construction projects are vulnerable to errors and face challenges such as inaccurate quantity take-offs, delays in completion, cost overruns, and inefficient energy use (Aibinu & Venkatesh, 2014; Bayram & Al-Jibouri, 2018; Crowther & Ajayi, 2021; Maqsoom, Aslam, Ismail, Thaheem, Ullah, Zahoor, & Vatin, 2021). The requirements that arise due to the rapidly developing and changing technology affect construction and other industries (Kahraman, 2022). According to a study, the global output of the construction industry is projected to increase by 42%, reaching \$15.2 trillion between 2020 and 2030 (Oxford Economics, 2021). The growing share of the construction industry in the global economy causes increasing competitive conditions, forcing the firms to explore all possible options within the framework of increasing product & service quality. This growing demand fosters digitalization in the sector, giving rise to the concept of Construction 4.0, which promotes faster production, higher quality, and cost-efficiency (Chen, Huang, Liu, Osmani, & Demian, 2022).” Various studies have shown that a highly sophisticated digital process increases the quality of important factors such as design freedom and productivity in the construction industry (Zareian & Khoshnevis, 2017).

In recent years, modern and innovative technologies have emerged in the field of construction project management, which is vital for the development of either public or private industry. Among these

technologies, Building Information Modeling (BIM) has revolutionized the Architecture, Engineering, and Construction (AEC) industry by offering a comprehensive and integrated approach. The highest contribution of this approach to the global construction industry ensures faster adoption of the system (Emara, 2022). BIM extends beyond conventional 3D design systems to include additional dimensions such as time (4D), cost (5D), environmental impact (6D), and maintenance (7D) (Fábrega Ferrer, 2022). Through case studies, researchers and industry professionals have highlighted the following advantages of using BIM (Hong, Hammad, & Nezhad, 2022): the removal of project collision risks (Bensalah, Elouadi, & Mharzi, 2019), improved reuse of design information throughout a project (Almuntaser, Sanni-Anibire, & Hassanain, 2018), and increased prefabrication engagement (Jang & Lee, 2018).

BIM usage is increasing rapidly around the world, and the 10th National BIM Report, prepared by the UK-based National Building Specification (NBS) with the participation of more than 1,000 industry representatives, includes the following important findings (NBS, 2020):

- BIM adoption increased from 43% in 2011 to 73% in 2020.
- In the last 10 years, the view that BIM is only a 3D drawing tool has disappeared and other dimensions of BIM have started to be applied.

- The participants agree that digital transformation will continue to change the milestones of the construction industry.
- The two main obstacles to the BIM system are seen as; (i) The customer demand is not sufficient, and (ii) The non-suitability of BIM for relatively small structures.

Developed countries have enhanced contractor performance by mandating the use of BIM technology to meet the evolving demands of the construction sector. A study performed by Ullah et al. (2019) emphasized that the adoption rate of BIM increased to 79% in the USA, 78% in Denmark and Canada, and 74% in the UK (Ullah, Lill, & Witt, 2019). The rapidly increasing use of BIM in developed countries, unfortunately, is not reflected in developing countries at the same rate. The traditional approaches, still used in many countries, are prone to error. However, the construction industry, which is considered the locomotive in developing countries, requires the aforementioned advantages of BIM much more.

In Türkiye, a developing country, the construction sector remains active through credit support and government incentives, even during periods of economic instability. In terms of gross domestic product (GDP), the construction industry in Türkiye has a considerable impact on the country's economy—approximately 30% (Elmalı, & Bayram, 2022).

The acceleration in industrial requirements and the constructional revolutions have created frontier research trends within the scope of BIM. In this context, the literature review is presented below for different BIM dimensions.

Lin (2014) proposed a “Construction BIM-based Knowledge Management” (CBIMKM) system tailored for general contractors. The system was applied to a building project in Taiwan. The findings indicated that by employing the BIM technique and web technologies, the CBIMKM system can be used as a visual 3D-based knowledge management platform (Lin, 2014). Aibinu and Venkatesh (2014) conducted a survey involving 180 Australian construction firms to evaluate their experiences with 3D-BIM applications. It was found that BIM features are not commonly used by firms due to some problems, such as concerns about the integrity of 3D models provided by designers and/or incomplete information in models. Akponeware and Adamu (2017) aimed to identify the causes of clashes in BIM-based coordination systems to achieve clash avoidance for BIM in the UK. Isolated working; involving mechanical, electrical, and plumbing (MEP) 3D-BIM systems was found as the primary reason. Bayram (2020) sought to compare two commonly used BIM-based software tools. The quantity data was obtained using traditional methods. It was stated that the quantities determined using the BIM-based software are obtained much faster and more practical than the traditional method, and the accuracy rate is quite

high. Akhmetzhanova, Nadeem, Hossain, and Kim (2022) pointed out that processes for detecting and resolving clashes with BIM are attempting to advance concurrently in the Kazakhstan BIM environment.

Gledson and Greenwood (2016) attempted to determine how contracting firms in the UK had modified their current construction planning procedures by utilizing 4D-BIM to enhance project delivery and timeliness. A survey was applied to 136 professionals. The study included information on the perceived value of 4D-BIM, the scope of its application, and the planning components that served as its primary targets. Jupp (2017) utilized workflows to integrate 4D modeling and analysis technology and created a customized framework for environmental planning and management. Scheduling & simulation, modeling of environmental equipment, modeling of construction site layout, modeling & visualization of environmental impact significance, and rule-checking capacity were all listed as five functional prerequisites. Crowther and Ajayi (2021) investigated the impacts of 4D-BIM on construction projects. A survey study was conducted and three topics, namely project reliability, project monitoring, and project diagnosis were discussed. Rashidi, Yong, Maxwell, and Fang (2022) aimed to unearth novel experimental findings by combining 4D-BIM and virtual reality (VR) technologies during construction planning among construction professionals at light steel frame (LSF) projects. Except for the

variable of 'project schedule and sequencing', all the considered variables showed significantly positive differences.

Xu (2017) created a 3D model of a building and performed a construction simulation and overlap analysis. It was stated that the 5D-BIM methodology increases the quality of construction, reduces costs, and contributes to green building technology. Arif and Khan (2020) investigated a Business Incubation Centre as a case study, however, its application was limited to block masonry, slab-level concreting, and column-level concreting. The current study presents a broader perspective on different dimensions of BIM for these types of projects, i.e. 81 production activities were considered. Aragó, Hernando, Saez, and Bertran (2021) aimed to define the new processes, roles, and skills required by the quantity of information obtained through 5D-BIM models. They stated that the quality of the quantity take-offs has been increased by creating a 5D-BIM model of four different construction projects. Ranjbar, Ansari, Taherkhani, and Hosseini (2021) aimed to present a new cash flow methodology to the construction industry by using the 5D-BIM. Because of their study on a sample project, they determined that the contractor firms developed the decision-making mechanism by estimating the possible cash flow process while managing the construction projects. Maqsoom et al. (2021) developed a Rwh assessment system in Pakistan through BIM. It was found that the chosen sites can capture anywhere between 48

L/person/day and 56 L/person/day of rainwater annually. Uddin, Wei, Chi, Ni, and Elumalai (2021) examined BIM implementation for green building assessment by taking into account the accessibility of local building supplies. The results demonstrated significant energy savings for buildings as well as a significant decrease in embodied energy and carbon footprint when local building materials are used. Changsaar, Abidin, Khoso, Luenhui, Yaoli, and Hunchuen (2022) investigated the possible advantages of incorporating BIM into the energy performance (EP) analysis of a building. Autodesk Revit was used to create the 3D-BIM model and EP analysis and simulations were performed via Autodesk Green Building Studio (GBS). This study concludes that including BIM in EP analysis enhances the accuracy of all EP measurements.

More recently, Öz, Cevikbas, and Öcal (2023) purposed to identify the significance of 4D-BIM elements in the construction sector and define them. Sixteen 4D-BIM features were identified, which were crucial for project planning. Akbay, Ökten, and Üstüner (2023) mentioned that the Turkish construction industry has still not achieved the expected digitalization, and the sector's involvement in digital transformation will provide a competitive advantage. Bozkurt, Ersoy, and Yaşa (2024) emphasized that Türkiye is still not adapted to BIM-VR technology, as evidenced by the fact that the majority of studies on BIM-VR integration are from other nations. Hussain, Moehler, and Walsh (2024) integrated the 5D-BIM into mega rail projects. Inzerillo, Acuto,

Pisciotta, Mantalovas, and Di Mino (2024) performed a time-cost analysis in terms of 4D BIM and 5D-BIM for a railway station. Alothman and Vilventhan (2025) implemented BIM in metro rail projects, to convert the traditional project delivery process into a digital project delivery process (DPDP).

The literature review indicates that the studies related to 3D-BIM focus on design integrity like quantity take-off, clash detection, etc. 4D-BIM studies involve the potential impacts and project delivery as well as flawless scheduling. Finally, 5D-BIM studies efforts to improve the quality of the quantity take-offs and the construction, as well as cost and risk reduction.

Technoparks emerged and expanded as fresh economic engines that put science into action (Dilrabo, 2022). Research centers, such as enterprise support centers, technology commercialization centers, and incubation centers, play a part in fostering government, business, and academic collaboration (Lee, Lee, & Oh, 2017). Incubation centers are designed to assist and support start-ups and spin-offs, which inevitably energize nearby companies and industries (Sung, & Kim. 1998). No effort has been observed for the construction process of incubation center buildings in the literature, which is of great importance for Technoparks.

The goal of this study is to develop a 3D to 5D-BIM process for a completed incubation center project from Erciyes Technopark. The technopark's activities

add to the region's scientific and/or technical culture, provide employment, and add value (Dilrabo, 2022). There are 73 Technology Development Zones actively working in Türkiye, as of June 2024. The selected incubation center is located within the borders of the Technology Development Zone of Erciyes University (ERU-TDZ) in Kayseri province, located in the Central Anatolia region. BIM technology is not yet mandatory in Türkiye, and there is no published BIM standard. Therefore, there is no path to follow for project managers yet. Another importance of this study is that previous studies generally considered singular reinforced concrete or steel structural systems. This study considers both and presents BIM processes for a composite structural system.

2. Material & Method

This study focuses on an incubation center project located in the Erciyes University Technology Development Zone (ERU-TDZ) as shown in Figure 1. The total area of ERU-TDZ is 156,382 square meters. The employer of the incubation center project is Erciyes Technopark.



Figure 1. Incubation Center Building, Technology Development Zone, Erciyes University.

The incubation center building, designed to support firms in conducting research and development (R&D) activities, has a ground floor area of 800 m² and a total construction area of 2000 m². The building consists of eight workshops, one shelter, one generator room, one hydrophore room, and one outbuilding. Each workshop was designed to have a ground floor area of 100 m² and a mezzanine floor area of 50 m². Each workshop consists of one office, one kitchen, one toilet, one disabled toilet, one warehouse, and one production area. The structural system of the foundation and basement floor of the building were designed as reinforced concrete, and the ground and mezzanine floor were designed as steel construction. The 2D architectural floor plans of the building are presented in Figure 2.

The case-construction project of this study has been procured within the scope of the Turkish Public Procurement Law, no 4734. Designers utilize technology (like Revit, for example) as part of the BIM process to produce various building models (Uddin et al., 2021). The 3D modeling of the composite structure was carried out using Autodesk Revit and Tekla Structures. The 4D and the 5D models can be simulated; this simulation helps investors optimize time and budget by improving constructability based on time and cost (Cheng, Tan, Song, Liu, and Wang, 2017). The obtained quantity data from the 3D-BIM model of the project were then processed on the construction schedule, prepared in Primavera P6 software, and a time and

cost schedule was prepared. The 5D-BIM cost simulation was designed via Autodesk Navisworks Manage 2020 software, which allows it to combine the 3D model. A flowchart has been provided in Figure 3 to visualize the application process of this study.

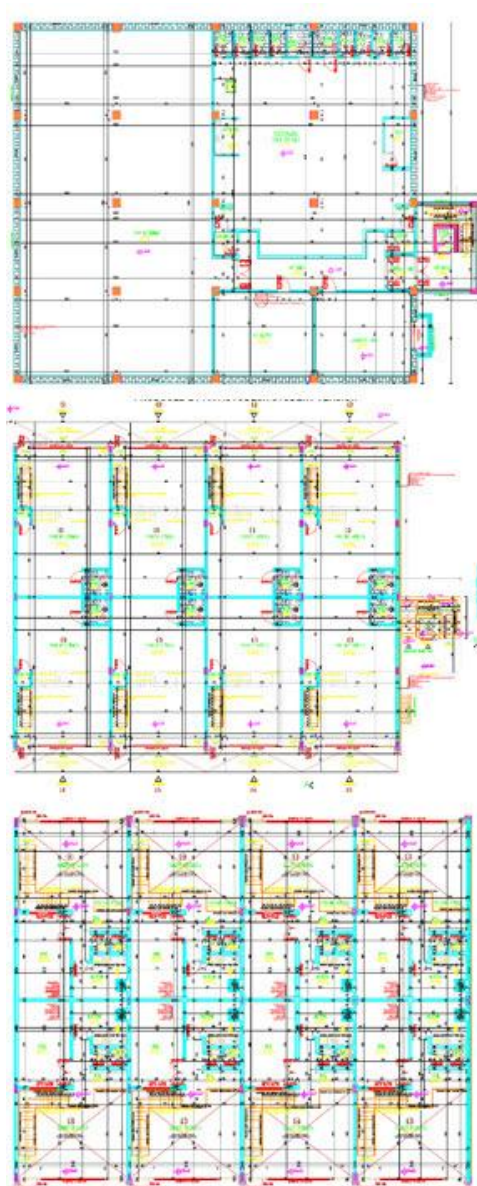


Figure 2. Basement, Ground and Mezzanine Floor Plans.

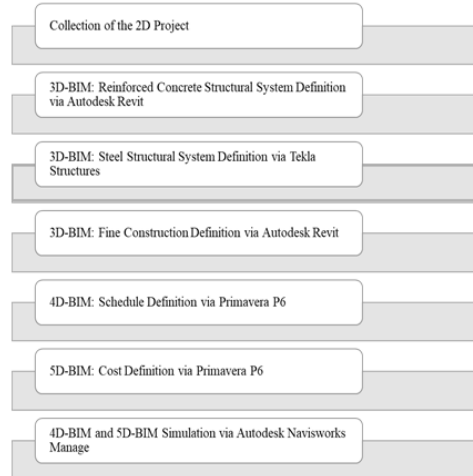


Figure 3. Workflow of the Application Process.

3. Case Study

Quantity take-offs were derived from a 3D-BIM model developed based on the original 2D architectural drawings of the incubation center. The structural modeling was performed via both Autodesk Revit and Tekla Structures software, and a guide was created on the use of Industry Foundation Class (IFC), a common data management system of BIM. The 3D-BIM model of the Incubation Center Building was created following the 11 steps below.

- A building template was selected on Revit that allows architectural and static models to be considered together.
- General settings; e.g. unit of measurement, display settings, etc. were adjusted.
- Elevation lines and axles, representing floor heights were drawn under the project.
- Reinforced concrete construction elements;

- foundation, column, beam, floor, and stair were modeled.
- Reinforced concrete reinforcements were modeled.
- The basement floor was modeled in detail, including both wall elements and interior finishes.
- Ground and mezzanine steel structural systems were modeled via Tekla Structures.
- The composite structural system of the mezzanine floor was modeled.
- The fine works of the ground and mezzanine floors were modeled.
- The sandwich panels of the roof and the facade, composite coatings, and other productions were modeled.
- Final arrangements were performed on the model by creating the building's environmental topography.

Continuous foundations were designed in three sizes: 100×80 cm, 80×80 cm, and 30×50 cm. C16/20 was used for lean concrete, while C25/30 was selected for the structural elements. Afterward, reinforced concrete column (60×60 cm), beam (60×60 cm), floor (d=20 cm), and stair elements were modeled under the frame structural system of the 2D static project. Reinforcement models have been created at the LOD 400 level, considering features such as diameter, length, overlap length, stirrup spacing, and miter as shown in Figure 4.

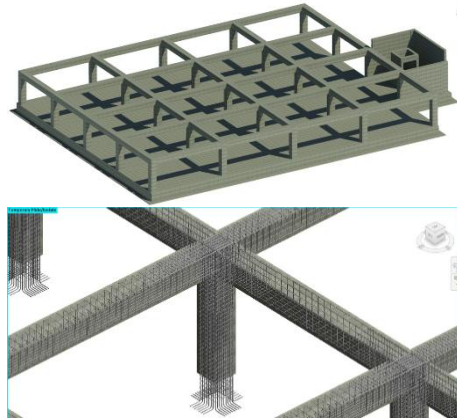


Figure 4. Reinforced Concrete Structural System and Column & Beam Reinforcement Modeling.

Fill material were designed to cover the exterior facades of the basement floor, and the exterior walls that will bear the load of this material were designed as stone walls (50 cm). Besides, the inner walls were designed as G3 class gas concrete (10 cm and 20 cm). Thus, the modeling of the wall elements of the basement floor with all components was completed. Afterward; screed (5 cm), ceramic (30×60 cm for toilets and bathrooms, 60×60 cm for the remaining), fire door (100×210 cm), aluminum door (80×210 cm), kitchen cabinet, and basalt coating productions were modeled as shown in Figure 5.

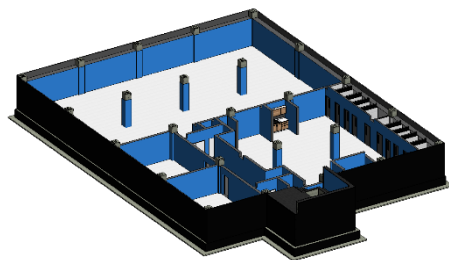


Figure 5. Basement Floor Modeling.

The steel structural components for the ground and mezzanine floors were modeled in Tekla Structures and subsequently transferred to Revit using the Industry Foundation Classes (IFC) format. The modeling of remaining productions on the ground floor was performed on this drawing. IPE 400 and IPE 200 column profiles, IPE 400 steel truss beam profiles, IPE 330 and IPE 160 steel beams (mezzanine floor structural system) were modeled together with their connection details as shown in Figure 6.

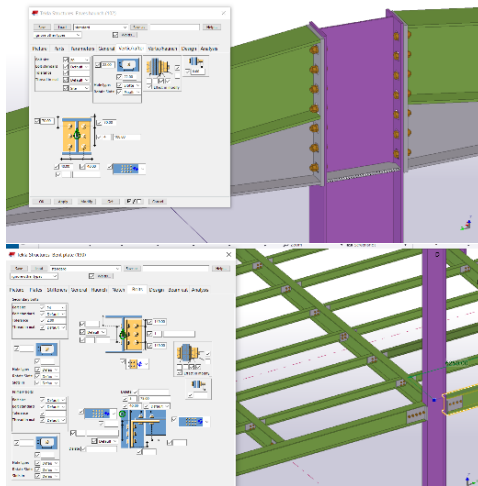


Figure 6. Column-Beam Connection Modeling.

Purlin and diagonal profiles of the mezzanine floor were modeled as CC 200 purlin profiles and CHS 88.9X3.2 & CHS 168.3X4.0 diagonal profiles. The facade cladding was designed as a sandwich panel in the 2D architectural project. The structural system of the panels was designed as an IPE 140-type profile in the 2D steel construction project. The window, sensual door, and fire door gaps in the facade tile were designed in the 3D models according to

their actual dimensions. Finally, the anchor elements that connect the steel structure with the reinforced concrete structure, were modeled as shown in Figure 7.

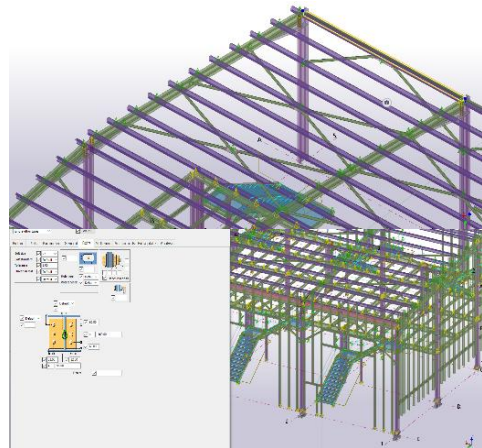


Figure 7. Purlin & Diagonal Structural Elements and Facade Tiling & Anchor Modeling.

Upon completion of all the planned drawings, a steel construction 3D-BIM model at the LOD 400 level was obtained. The model created in Tekla Structures has been exported thanks to the program's compatibility with the IFC system as shown in Figure 8.

The design of the composite structural elements, located at the mezzanine floor was also performed as shown in Figure 9. This structural system consists of a 1 mm galvanized corrugated steel, mesh steel, and C25/30 concrete production. Q257/257 mesh steel drawings were also modeled. After the modeling of the reinforced concrete productions was completed, fine production on the ground and mezzanine floors were modeled. The inner walls were applied

as G3 class gas concrete (10 cm and 20 cm).

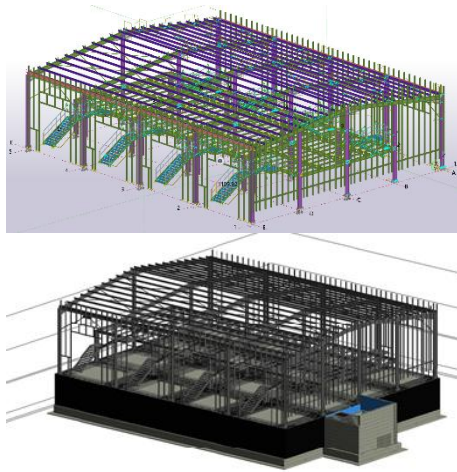


Figure 8. Steel Construction 3D-BIM Model and Transfer from Tekla Structures to Revit.

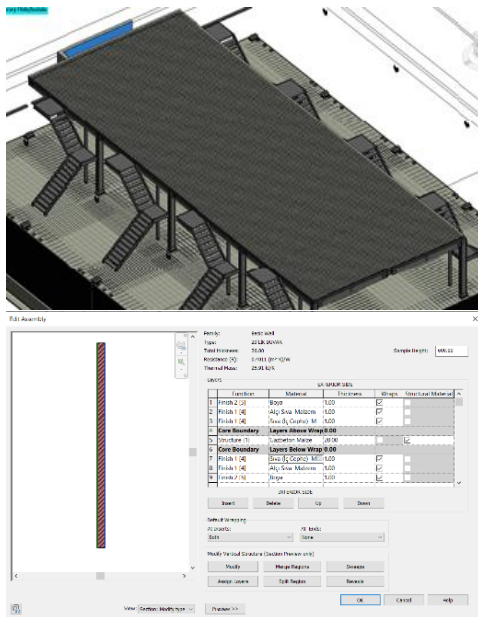


Figure 9. Composite Structural System Modeling on the Mezzanine Floor.

After the completion of the wall modeling; door, window, screed, ceramic and parquet, windowsill, wooden cabinets in the kitchen, kitchen counter, and ceiling cladding productions were modeled as shown in Figure 10. Aluminum window and suspended ceiling productions were downloaded and imported to the model from the BIMObject website, as they were not available in the Revit library (BIMObject, 2021a; 2021b). After the modeling of the productions on the ground and mezzanine floors was completed; rainspout, roof and exterior sandwich panels, fire doors, sectional doors, and composite coating were modeled. Finally, the field concrete in the architectural project and the topography of the building were modeled for landscaping. The field concrete was modeled as C25/30 and Ø257/257 mesh steel reinforcement.

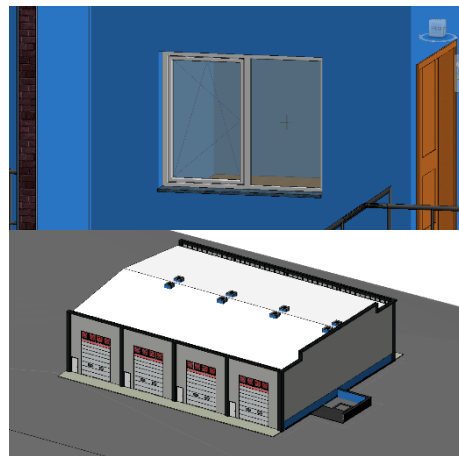


Figure 10. Fine Construction and Interior Wall (20 cm) & Layers Modeling.

After the 3D-BIM model of the Incubation Center Building was completed, the quantity lists were

prepared. The quantity lists were obtained from Revit & Tekla Structures. The bill of quantities of a total of 52 production items has been created. The arranged quantity data were used to prepare the work program. To prepare the 4D-BIM models obtained by adapting the time dimension to the 3D-BIM model, work definitions published by the Turkish Ministry of Environment, Urbanization, and Climate Change were used. The resource analysis was performed and the activity durations were determined. The resource analysis process is summarized below in seven stages:

- The work definitions, suitable for the present production items, designed in the 3D-BIM model were determined.
- Pose analysis, the required resources for unit production of each item, was determined.
- The critical source of each production item was determined.
- The work period for a single team was considered as 8 hours per day.
- It was calculated in how many days the critical resource could complete the work time calculated.
- The team composition for the operative resources was determined.
- The activity duration for each production item was ensured.

To prepare the work program within the scope of the Incubation Center Building Construction Work, the Enterprise

Project Structure (EPS) information and sub-EPS information were initially arranged in Primavera P6 software as shown in Figure 11. The Work Breakdown Structure (WBS) of the project was created in two parts rough works and fine works. The activities, durations, predecessors, and the required resources in terms of material, workforce, and equipment, were defined and added. The sub-activities within the same main activity group are separated according to production order. For example, the production of C25/30 concrete was defined into four separate activities: foundation, basement, ground, and mezzanine concrete. Thus, 81 activities were defined; including 30 activities for the rough works WBS and 51 activities for the fine works WBS. The duration of the project was found as 286 calendar days, which was planned to start on January 04, 2021, and be completed on October 17, 2021.



Figure 11. Activity Descriptions and Creation of Relationships.

To prepare the 5D-BIM models obtained by adapting the cost dimension to the 4D-BIM model, unit prices published in 2021 year by the Turkish Ministry of Environment, Urbanization, and Climate Change were used. The cost analysis of the Incubation Center Building was performed by using the resource analysis and the unit prices.

The quantities determined for each activity were defined on the software, production per day, and total activity costs were calculated. To make cost controls, the cumulative cost values were examined. In line with the data obtained, cost analyses were prepared and it was shown how the cost values changed daily via construction phase simulations within the framework of the 5D-BIM model.

The 5D-BIM model of the Incubation Center Building was prepared via Navisworks Manage software. To create time and cost simulations, the 3D model prepared in the Revit and the work program data created in the Primavera P6 were used. A simulation was created by integrating these data into the Navisworks as shown in Figure 12. The simulation shows the information of the 5D-BIM model, at what date, at what cost, and at what level, according to the prepared construction schedule.

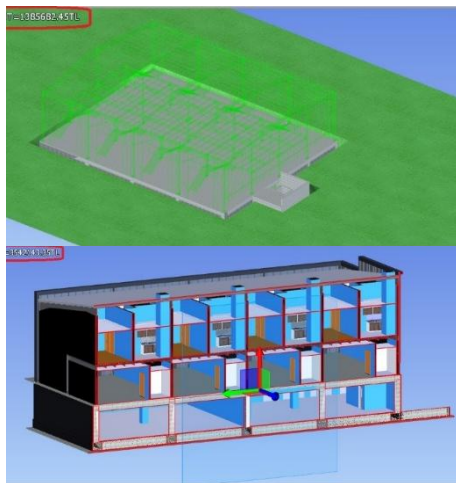


Figure 12. Steel Construction Simulation and Completed 5D-BIM Simulation.

No calculation was made on the total quantity of the activities included in the construction schedule while preparing the cost analyses. Separate calculations were made for each resource that belongs to the activity as shown in Figure 13. The main reason for making analyses at this level of detail is to enable a more detailed investigation of the construction schedule. Within the scope of this target, the total cost of the Incubation Center Building Work was determined as 3,542,139.42₺ (100%), of which 1,812,391.12₺ (51%) is rough works and 1,729,748.30₺ (49%) is fine works.

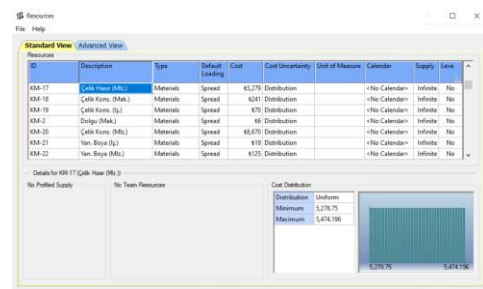


Figure 13. Cost Definitions on PRA.

The resource costs for the steel construction of the Incubation Center Building on the other hand was determined as 716,462.71₺ (100%); in which equipment cost was 19,212.33₺ (3%), labor force was 5,593.10₺ (1%), and material cost was 691,657.28₺ (96%).

4. Discussion

The findings of BIM implementation in Türkiye align with those performed abroad (Lin, 2014; Xu, 2017; Arif & Khan, 2020). However, the number of studies on BIM applications is very high, especially in developed countries, and

limited in Türkiye despite the requirement. Despite its increasing popularity, it can also be stated that the studies originating from Türkiye in recent years are theoretical rather than a practitioner's guide (Bayram, 2020). Therefore, the expression of the lessons learned from the different dimensional BIM modelings for an Incubation Center Building is seen as significant. The encountered problems in the 3D-BIM modeling process (via Autodesk Revit and Tekla Structures), 4D-BIM, and 5D-BIM modeling process (via Oracle Primavera and Autodesk Navisworks) were discussed below respectively.

- In 3D-BIM modeling, Revit allows elements within the same family to automatically join. However, this functionality does not apply consistently to certain components, such as beams (Bayram, 2020). Although this situation does not change the quantity take-off, it prevents the creation of detailed reports. The solution is a time-consuming method that requires separating and reconnecting all the beams from each other.
- The automatic join feature may unintentionally alter the properties of other structural elements, leading to inconsistencies in the model (Changsaar et al., 2022). For example, while the plaster-paint layer drawing of the reinforced concrete column is made, if there is a layered wall element (containing a plaster-paint layer) on one side of the same column, the gas concrete material, which is the main element in the wall layer, becomes smaller in length. The solution is to close the join command temporarily and then complete the drawing.
- In the section drawings included in the architectural project, the assignment of plaster-paint layers on the surfaces of reinforced concrete beams to the beam surface is only possible by changing the basic settings of the reinforced concrete beam in the library (Uddin et al., 2021). It is required to copy the reinforced concrete beam in the library and perform operations on the obtained copy since the change to be made on the beam in the library causes all the beams in the project to change.
- The modeling phase of all the reinforcements in the project has a time-consuming and sophisticated structure due to the excess of details (Bayram, 2020). These difficulties may cause the designer not to prefer the reinforcement modeling process.
- Tekla Structures software includes easy-to-understand menus to create the main structural elements. However, auxiliary commands such as copy, move, divide, merge,

point assignment, and geometric drawing are difficult to use.

- Tekla provides users with macros containing visual examples to facilitate the creation of structural connection details. However, the excessive number of adjustable parameters increases complexity and extends the modeling process. This situation causes designers to work on the same macros all the time and models emerge in similar patterns.
- Anchor structural elements that enable the steel columns to be supported by the reinforced concrete structural system can be modeled using macros. However, after the 3D model was created, it was detected that there would be difficulties in placing the anchor rods into the reinforced concrete column. As a solution, it was determined that the diameter of the reinforcements should be increased and the quantity should be decreased.
- Tekla allows modeling the steel banisters and various sheet metals. Three-dimensional models were also created for the steel stair banisters and rainspouts. The design revealed that varying profile diameters were required for different turning zones, increasing modeling complexity. This situation causes the design phase to become complicated.
- In terms of 4D-BIM and 5D-BIM modeling; 106 different types of resources, which were determined from the statistics of the Turkish Ministry of Environment, Urbanization, and Climate Change, were assigned to the activities created in Primavera. Primavera offers users the opportunity to define labor, material, and equipment resources and their quantity units (hour, number, square meters, volume, etc.). However, construction contracts under the Turkish Public Procurement Law (Law No. 4734) are prepared according to the "production measurement units" specified in standard work item definitions (pose analysis). For this reason, all of the resource types of the activities in the work program were determined as materials, and the production measurement units were defined as is in the work definitions. As an example, the production measurement unit for steel construction production is determined as "ton" in its work definition. The employer, Erciyes Technopark, pays the contractor under the calculations made in the "ton" unit for this production. Consequently, it would be better to estimate the labor cost in

terms of "ton" instead of "hour", for the analyses to be performed to determine the tender bid prices.

- Within the scope of the study, since the working times were determined via resource analysis, the activity durations were defined manually and the one-day resource usage was calculated by the Primavera. Thus it can be determined which resource is needed, when, and how much. However, the accuracy of all data should be checked, since Primavera does not directly present the final output to users in case of changing the parameters that will affect the operations, such as defining the relations, determining the project duration, and calculating the budget. To obtain the working schedule, which reflects the changes made, various adjustments must be made and the program command must be run again. This situation affects revision processes by making it difficult to coordinate working schedule components.
- The created 3D-BIM model file can be saved in a format suitable for Navisworks by using the export feature of Revit. However, some adjustments are required on the 3D-BIM model prepared in Revit. This process has a complex structure since the setting menu includes too

many tabs. Besides, there is not an adequate user manual on how to make these adjustments. Relying on trial-and-error methods to resolve these compatibility issues increases the complexity and duration of the process. For example, it was determined that not all of the layers on the imported model are selectable, only the outermost layers and the main layer are selectable. To solve this situation, the layered construction elements prepared in Revit were dismantled, and each layer was redesigned as a separate construction element.

- Similar problems were encountered during the file transfer process between Primavera P6 and Navisworks. Navisworks can import work programs prepared with Primavera P6 via web service. However, this feature works on a specific server. Therefore, Primavera P6 project output was obtained in MS Excel, edited in CSV format, and transferred to Navisworks. This process is unfortunately a sophisticated process that involves changing various punctuation marks and may cause losses or inaccuracies in the transferred data. For the reasons mentioned, the model should be examined in detail after the data transfer process.
- The activities in the construction schedule and the construction

elements must be associated to simulate the construction stages within the scope of 4D-BIM. For this purpose, the grouping feature of selected elements, suggested by Revit to the designers, was utilized. Since the created groups can be saved as a set in Navisworks, it simplifies the simulation preparation process. However, it would be much more beneficial to develop a tool that supports simultaneous synchronization between Revit and Navisworks to ensure a more effective process.

- The Turkish Public Procurement Law, which has been in force for nearly a quarter of a century, can no longer keep pace with technological developments. Therefore, updating it again in line with BIM processes is essential to ensure compatibility with BIM.

5. Conclusion

A large number of individuals with varied backgrounds, educational levels, and personal traits creates a complex environment in the project-based construction industry. In underdeveloped countries, construction project managers generally consist of managers who do not have an institutional and professional perspective and have no education or training in the field. This situation causes contractors to be standoff from technological developments. On the

other hand, the construction industry is faced with managerial problems such as cost increases and delays, during intense economic fluctuations. This study aims to supply project managers with an integrated perspective and to explain practically why BIM should be used in construction projects.

The benefits of BIM are considerably more necessary for the construction industry, which is regarded as the locomotive in emerging nations. Türkiye has not yet made BIM mandatory and there is no published BIM standard. It is therefore expected that this study will be a resource of inspiration and a guide for emerging nations, which have not adopted BIM processes in the construction industry yet. This study develops a 3D to 5D-BIM process for a completed incubation center project from Erciyes Technopark, Türkiye. To eliminate the disadvantages of traditional methods, a more specific approach at the LOD 400 level was provided to the design, quantity take-off, schedule, cost, and construction phase simulation processes within the framework of the BIM approach. This study is also a guide for technoparks that will carry out the incubation center construction process. Previous research typically focused on steel or reinforced concrete structural systems. This study presents the BIM approach for a composite structural system and considers both. Finally, contrary to popular belief, this study shows that BIM is efficient in simple building structures.

The main limitation of this study is that; cost calculations were performed on the production items belonging to the construction work type of the sample construction project, therefore, indirect costs and profit margins were not considered. The reason is that 3D-BIM models of electrical and mechanical projects can be designed by professionals in the field and the costs vary according to the qualifications of the firms.

This study is generally a guide. It can be applied to different projects by following the application steps. To increase BIM awareness, it is expected that the consideration of different BIM dimensions in the scope of construction work tenders made by utilizing public resources will provide great benefits to public contractors, and will guide construction firms in the private sector. It is also expected that the 3D models of the structural elements will be combined on the same platform after they have been designed, using two different software, and will be a guide for the practical use of the industry foundation classes.

Declaration of Ethical Standards

Authors declare that all ethical guidelines including authorship, citation, data reporting, and publishing original research, were followed.

Credit Authorship Contribution Statement

Author 1: Software, Formal analysis, Investigation, Data curation, Writing – original draft, Visualization

Author 2: Conceptualization, Methodology / Study design, Validation, Investigation, Resources, Writing – review and editing,

Supervision, Project administration, Funding acquisition

Declaration of Competing Interest

The author has no conflicts of interest to declare regarding the content of this article.

Data Availability

All data generated or analyzed during this study are included in this published article.

Acknowledgement

The authors would like to thank to Scientific Research Projects Coordinatorship of Erciyes University, for the Project support, nr. FYL-2020-10161.

6. References

- Aibinu, A., & Venkatesh, S. (2014). Status of BIM adoption and the BIM experience of cost consultants in Australia. *Journal of professional issues in engineering education and practice*, 140(3), 04013021. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EI.1943-5541.00001](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EI.1943-5541.00001)
- Akbay, R. B., Ökten, B. B., & Üstüner, Y. A. (2023). Şantiyelerde Bilgi Modellemesi ve Dijital Teknolojilerin Kullanımı. *AJIT-e: Academic Journal of Information Technology*, 14(54), 298-319. <https://doi.org/10.5824/ajite.2023.03.007.x>
- Akhmetzhanova, B., Nadeem, A., Hossain, M. A., & Kim, J. R. (2022). Clash detection using building information modeling (BIM) technology in the Republic of Kazakhstan. *Buildings*, 12(2), 102. <https://doi.org/10.3390/buildings12020102>
- Akponeware, A. O., & Adamu, Z. A. (2017). Clash detection or clash avoidance? An investigation into coordination problems in 3D BIM. *Buildings*, 7(3), 75. <https://doi.org/10.3390/buildings7030075>
- Almuntaser, T., Sanni-Anibire, M. O., & Hassanain, M. A. (2018). Adoption and implementation of BIM–case study of a

- Saudi Arabian AEC firm. *International Journal of Managing Projects in Business*, 11(3), 608-624. <https://doi.org/10.1108/IJMPB-05-2017-0046>
- Alothman, A., & Vilventhan, A. (2025). Development of Building Information Model-Enabled Facility Management for Metro Rail Stations. *Journal of Construction Engineering and Management*, 151(3), 05024018. [https://doi.org/10.1061/\(CEMD4.COENG-15868](https://doi.org/10.1061/(CEMD4.COENG-15868)
- Aragó, A. B., Hernando, J. R., Saez, F. J. L., & Bertran, J. C. (2021). Quantity surveying and BIM 5D. Its implementation and analysis based on a case study approach in Spain. *Journal of Building Engineering*, 44, 103234. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103234>
- Arif, F., & Khan, W. A. (2020). A real-time productivity tracking framework using survey-cloud-BIM integration. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 45, 8699-8710. <https://doi.org/10.1007/s13369-020-04844-5>
- Bayram, S. (2020). Yapı bilgi modellemesi (YBM) kapsamında geleneksel metraj ile yazılımın karşılaştırılması. *Yapı Bilgi Modelleme*, 2(2), 58-65.
- Bayram, S., & Al-Jibouri, S. (2018). Cost forecasting using RCF: a case study for planning public building projects costs in Turkey. *International journal of construction management*, 18(5), 405-417. <https://doi.org/10.1080/15623599.2017.1333399>
- Bensalah, M., Elouadi, A., & Mharzi, H. (2018). BIM integration into railway projects-case study. *Contemporary Engineering Sciences*, 11(44), 2181-2199. <https://doi.org/10.1002/9781119649229.ch4>
- BIMObject. Ceilings. (2021a). <https://www.bimobject.com/en/category/construction/ceilings> Accessed 25 January 2021.
- BIMObject. Windows (2021b). <https://www.bimobject.com/en/category/windows> Accessed 25 November 2021.
- Bozkurt, G., Ersoy, S., & Yaşa, E. (2024). Yapı Üretim Süreçlerinde BIM ve VR Uygulamalarının Entegrasyonunun Değerlendirilmesi. *Turkish Journal of Civil Engineering*, 35(4), 117-144. <https://doi.org/10.18400/tjce.1244122>
- Changsaar, C., Abidin, N. I., Khoso, A. R., Luenhui, L., Yaoli, X., & Hunchuen, G. (2022). Optimising energy performance of an eco-home using building information modelling (BIM). *Innovative Infrastructure Solutions*, 7(2), 140. <https://doi.org/10.1007/s41062-022-00747-6>
- Chen, Y., Huang, D., Liu, Z., Osmani, M., & Demian, P. (2022). Construction 4.0, Industry 4.0, and Building Information Modeling (BIM) for sustainable building development within the smart city. *Sustainability*, 14(16), 10028. <https://doi.org/10.3390/su141610028>
- Cheng, J. C., Tan, Y., Song, Y., Liu, X., & Wang, X. (2017). A semi-automated approach to generate 4D/5D BIM models for evaluating different offshore oil and gas platform decommissioning options. *Visualization in Engineering*, 5, 1-13. <https://doi.org/10.1186/s40327-017-0053-2>
- Crowther, J., & Ajayi, S. O. (2021). Impacts of 4D BIM on construction project performance. *International Journal of Construction Management*, 21(7), 724-737. <https://doi.org/10.1080/15623599.2019.1580832>
- Dilrabo, S. (2022). Innovative way of german economic development. The role of technoparks in the development of germany a leading economy. *International journal of trends in business administration*, 12(1), <https://doi.org/10.5281/zenodo.7199859>.
- Economics, O. (2021). Future of construction: A global forecast for construction to 2030. September.[Online] Available at:

- https://resources.oxfordeconomics.com/hubfs/Future%20of%20Construction_Full%20Report_FINAL.pdf [Accessed 14 January 2024].
- Elmalı, Ö., & Bayram, S. (2022). Adoption of BIM concept in the Turkish AEC industry. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, 1-18. <https://doi.org/10.1007/s40996-021-00768-8>
- Emara, M. S. (2022). Toward a suggested proposed model for the use of building information modeling (BIM) in the implementation phase for landscaping. *Ain Shams Engineering Journal*, 13(2), 101566. <https://doi.org/10.1016/j.ASEJ.2021.08.009>
- Fàbrega Ferrer, J. (2022). *Key Indicators for a Sustainable Building within Hilti* (Master's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya).
- Gledson, B., & Greenwood, D. (2016). Surveying the extent and use of 4D BIM in the UK. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, 21, 57-71.
- Hong, Y., Hammad, A. W., & Nezhad, A. A. (2022). Optimising the implementation of BIM: A 2-stage stochastic programming approach. *Automation in Construction*, 136, 104170. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104170>
- Hussain, O. A., Moehler, R. C., & Walsh, S. D. (2024). A conceptual framework for 5d-bim cost control and management: A state-of-the-art review of mega rail projects in Victoria. *Computing in Civil Engineering* 2023, 613-621. <https://doi.org/10.1061/9780784485231.073>
- Inzerillo, L., Acuto, F., Pisciotta, A., Mantalovas, K., & Di Mino, G. (2024). Exploring 4d and 5d Analysis in BIM Environment for Infrastructures: A Case Study. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 48, 233-240. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-2-W4-2024-233-2024>
- Jang, S., & Lee, G. (2018). Process, productivity, and economic analyses of BIM-based multi-trade prefabrication—A case study. *Automation in Construction*, 89, 86-98. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.12.035>
- Jupp, J. (2017). 4D BIM for environmental planning and management. *Procedia engineering*, 180, 190-201. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.178>
- Kahraman, E. (2022). Integration of financial risk analysis into 5D BIM system and BIM optimization with financial risk support [Finansal risk analizinin 5D BIM sistemine entegrasyonu ve finansal risk destekli BIM optimizasyonu]. M.Sc. Thesis, Erciyes University, Kayseri, Türkiye. (in Turkish)
- Lee, S. J., Lee, E. H., & Oh, D. S. (2017). Establishing the innovation platform for the sustainable regional development: Tech-valley project in sejong city, Korea. *World Technopolis Review*, 6(1), 5-1. <https://doi.org/10.7165/wtr17b0904.16>
- Lin, Y. C. (2014). Construction 3D BIM-based knowledge management system: a case study. *Journal of Civil Engineering and Management*, 20(2), 186-200. <https://doi.org/10.3846/13923730.2013.801887>
- Maqsoom, A., Aslam, B., Ismail, S., Thaheem, M. J., Ullah, F., Zahoor, H., ... & Vatin, N. I. (2021). Assessing rainwater harvesting potential in urban areas: a building information modelling (BIM) approach. *Sustainability*, 13(22), 12583. <https://doi.org/10.3390/su132212583>
- National Building Specification. NBS' 10th National BIM Report (2020). <https://www.thenbs.com/knowledge/national-bim-report-2020> Accessed 13 November 2021

- Öz, İ., Cevikbas, M., & Öcal, C. (2023). Determination of Significance of 4D-BIM Features. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 27(2), 246-254.
<https://doi.org/10.19113/sdufenbed.1209834>
- Ranjbar, A. A., Ansari, R., Taherkhani, R., & Hosseini, M. R. (2021). Developing a novel cash flow risk analysis framework for construction projects based on 5D BIM. *Journal of Building Engineering*, 44, 103341.
<https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103341>
- Rashidi, A., Yong, W. Y., Maxwell, D., & Fang, Y. (2023). Construction planning through 4D BIM-based virtual reality for light steel framing building projects. *Smart and Sustainable Built Environment*, 12(5), 1153-1173.
<https://doi.org/10.1108/SASBE-06-2022-0127>
- Sung, T. K., & Kim, S. G. (1998, January). From" central" to" regional": new technopolies development in Korea. In *Proceedings of the Thirty-First Hawaii International Conference on System Sciences* (Vol. 6, pp. 242-251). IEEE.
- Uddin, M. N., Wei, H. H., Chi, H. L., Ni, M., & Elumalai, P. (2021). Building information modeling (BIM) incorporated green building analysis: An application of local construction materials and sustainable practice in the built environment. *Journal of building pathology and rehabilitation*, 6, 1-25.
<https://doi.org/10.1007/s41024-021-00106-5>
- Ullah, K., Lill, I., & Witt, E. (2019, May). An overview of BIM adoption in the construction industry: Benefits and barriers. In *10th Nordic conference on construction economics and organization* (Vol. 2, pp. 297-303). Emerald Publishing Limited.
<https://doi.org/10.1108/S2516-285320190000002052/FULL/EPUB>
- Xu, J. (2017). Research on application of BIM 5D technology in central grand project. *Procedia engineering*, 174, 600-610.
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.01.194>
- Zareiyan, B., & Khoshnevis, B. (2017). Interlayer adhesion and strength of structures in Contour Crafting-Effects of aggregate size, extrusion rate, and layer thickness. *Automation in Construction*, 81, 112-121.
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.06.013>

Araştırma Makalesi

Sağlık Tesislerinde Ambulans Trafiği Yönetimi ve Trafik Güvenliği için Sürdürülebilir Çözümler

¹Meltem SAPLIOĞLU, ²Ayşe ÜNAL

¹Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye, meltemsaplioglu@sdu.edu.tr, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-6590-8672>

²Siirt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Siirt, Türkiye, ayseunal@siirt.edu.tr, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-3262-135X>

Geliş: 27.02.2025;

Kabul: 29.04.2025

Öz

Travma ve acil vakalar, dünya genelinde önemli bir halk sağlığı sorunu olup, ambulansların hastaneye güvenli ve hızlı erişimi acil sağlık hizmetlerinde hayati bir faktördür. Ancak, birçok sağlık tesisinde ambulans giriş yolları ve mevcut trafik düzenlemeleri, hızlı ve güvenli erişimi zorlaştırmakta ve hastane içi trafik güvenliğini olumsuz etkilemektedir. Bu çalışmada, Süleyman Demirel Üniversitesi (SDÜ) Araştırma ve Uygulama Hastanesi ile Siirt Eğitim ve Araştırma Hastanesi (SEA) örneklerinde ambulans giriş yollarının güvenliği ve manevra kapasitesi değerlendirilmiştir. TS EN 1789+A1 (2024) standartları dikkate alınarak, AutoTURN yazılımı ile farklı hız ve manevra senaryoları test edilmiştir. Analizler, mevcut yollarda geometrik yetersizlikler, araç-arac, araç-yaya çakışmaları ve dar manevra alanları gibi önemli sorunları ortaya koymuştur. Önerilen tasarımlar kapsamında, SDÜ Hastanesi için Senaryo 3 ve SEA Hastanesi için Senaryo 6, 25 m dönüş çapına ve ambulanslara özel girişlere sahip düzenlemeleri ile 40 km/s'ye kadar güvenli manevra imkanı sağlamaktadır. Çalışma, hasta taşıma süresini azaltan ve trafik güvenliğini artıran uygulanabilir ve sürdürülebilir tasarım çözümleri sunmakta ve gelecekte akıllı trafik yönetimi ile yapay zeka destekli analizlerle geliştirilmesi önerilmektedir.

Anahtar kelimeler: Ambulans Yol Güvenliği, Manevra Analizi, AutoTurn Simülasyonu, Hastane Acil Girişi, Sürdürülebilir Yol Tasarımı

*Sorumlu Yazar

Bu makaleye atıf yapmak için

Saphioğlu, R., & Ünal, A. (2025). Su Kalitesi Parametreleri için Mann-Kendall ve Yenilikçi Trend Yöntemlerinin Karşılaştırılması. *Journal of Innovations in Civil Engineering and Technology (JICIVILTECH)*, 7(1), 71-91. <https://doi.org/10.60093/jiciviltech.1646872>

Sustainable Solutions for Ambulance Traffic Management and Traffic Safety in Healthcare Facilities

Abstract

Trauma and emergency cases are recognized as significant public health issues worldwide, where the safe and rapid access of ambulances to hospitals plays a vital role in the effectiveness of emergency medical services. However, inadequate ambulance entrance roads and inefficient traffic regulations in many healthcare facilities hinder prompt and safe access, compromising patient transport times and internal traffic safety. This study evaluates the safety and maneuverability of ambulance entrance roads at Süleyman Demirel University (SDU) Research and Application Hospital and Siirt Training and Research Hospital (SEA). The assessment was conducted based on TS EN 1789+A1 (2024) standards and scenario-based simulations using AutoTURN software. The analyses revealed geometric deficiencies, vehicle-pedestrian conflicts, and limited maneuvering space in the current layouts. As a solution, Scenario 3 for SDU and Scenario 6 for SEA, which feature 25-meter turning radii and dedicated ambulance-only access roads, were proposed. These designs allow ambulances to perform safe maneuvers at speeds up to 40 km/h without vehicle conflicts or geometrical restrictions. The study provides sustainable and practical design solutions that reduce patient transport times and improve traffic safety. Further studies are recommended to integrate smart traffic management and AI-based simulations to enhance the proposed models.

Keywords: Ambulance Route Safety, Maneuver Analysis, AutoTURN Simulation, Hospital Emergency Entrance, Sustainable Road Design

1. Giriş

Dünya genelinde travma kaynaklı ölümlerin önemli bir sağlık sorunu olduğu bilinmektedir (Wiwekananda vd., 2020). Ambulans gecikmeleri ve ambulans kazaları, travma geçiren hastaların hastaneye ulaşmasını zorlaştırarak ölüm riskini artırmaktadır (Pan vd., 2024). Gecikmeler sonucunda hastanın yaralanma durumu daha da kötüleşebilmektedir. Bu bağlamda, hastane giriş yollarının tasarımı, trafik mühendisliği ve sağlık tesisleri planlamasının kesişim noktasında yer almaktadır. Uygun bir giriş tasarımı, yalnızca zamandan tasarruf sağlamakla kalmaz, aynı zamanda kazaları ve operasyonel aksaklıkları (Yoon ve Albert, 2020) da minimize eder.

Tayland'da yapılan bir araştırmada, acil tedaviye ihtiyaç duyan hastaların %20'den fazlasının, trafik sıkışıklıkları ve iş birliği yapmayan sürücüler nedeniyle hastaneye ulaşmadan hayatını kaybettiği rapor edilmiştir (The Nation, 2017). Bu durum, dünyanın birçok ülkesinde olduğu gibi Türkiye'de de benzer şekilde gözlemlenmektedir. Daha ayrıntılı incelendiğinde, acil sağlık hizmetlerinde ambulansların hızlı ve güvenli erişiminin hayati öneme sahip olduğu (Watanabe vd., 2019); ambulansların hastaneye giriş yolları ve bu yolların manevra güvenliğinin (Hossain vd., 2025), hasta sağlığı, personel güvenliği ve trafik akışı açısından kritik bir rol oynadığı belirlenmiştir (Lam vd., 2015). Yapılan kaynak incelemeleri, ambulans gecikmelerinin başlıca nedenlerinin trafik yoğunluğu ve yetersiz yol

geometrisi olduğunu göstermektedir (Noorani vd., 2014; Dimitriou vd., 2018). Ambulansların hızlı, güvenli ve engelsiz bir şekilde hastane acil servislerine ulaşması, acil müdahale sürecinin başarısını doğrudan etkilemektedir. Ancak, özellikle hasta nüfusunun artışıyla birlikte ambulansların karşılaştığı yol güvenliği problemleri de büyümektedir. Hasta transfer sürecinde yaşanan gecikmeler, hastane lojistiğinde ciddi aksamalara neden olabilmektedir.

Uygulamaya geçmeden önce, mevcut hastane giriş yollarının arazi üzerinde ve projelendirme aşamasında detaylı incelenmesi ve problemlerin tespiti için gerekli verilerin toplanması gerekmektedir. Ambulans giriş yolu güvenliği ile ilgili yapılan çalışmalarda, özellikle yol geometrisi ve manevra alanı uygunluğunun değerlendirilmesi gerektiği belirtilmektedir. Ulaştırma mühendisliğinde yol planlaması ve güvenlik standartları, genellikle geleneksel ölçütler üzerinden şekillendirilmektedir. Örneğin, çalışmamızın konusu olan hastanelerin ambulans giriş yolları ve manevra alanları için mevcut standartlar bulunmaktadır (TSE 1789+A1, 2024). Ancak, ambulansın dinamik yeteneklerini detaylı şekilde dikkate alan, performansa dayalı, bölgesel farklılıkları gözeten ve araç hız değişimlerine duyarlı yeni geometrik yol standartları henüz geliştirilmemiştir. Bu eksikliklerin en büyük dezavantajı, ambulans gibi acil durum araçları için ayrılan yolların gereğinden fazla geniş tutulması veya tam tersine, dar alanların kullanılarak tehlikeli durumların oluşturulmasıdır.

Ambulans yolları için şerit genişliğinin 3,5-4,5 metre arasında olması önerilmektedir (Wolhuter, 2015). Türkiye’de, TSE EN 1789’da belirlenen ambulans boyutları esas alınarak yol genişlikleri belirlenmektedir. Genellikle ambulanslar 2,5 metre genişliğe ve 7-8 metre uzunluğa sahiptir. Bu nedenle, çift yönlü trafik akımı olan kesimlerde yol genişliğinin en az 7-8 metre olması gerekmektedir. Ancak, ambulans yollarının kenarında araç park edilmesi durumunda şerit genişliği yetersiz kalmakta ve trafik verimi düşmektedir. Ek olarak, hastanelere veya acil durum tesislerine giden yollar ambulanslar için özel şeritler içermeli ve diğer trafik akımıyla kesişmemeli ve yol kenarı park yapılmamalıdır (Lam vd., 2015).

Yol eğimi ve dönüş yarıçapları, ambulans giriş yolları için kritik parametrelerdir. Ambulans giriş yollarında eğimin %10’u geçmemesi gerekmektedir, çünkü daha dik eğimler, özellikle ıslak veya buzlu havalarda araç kontrolünü zorlaştırabilmektedir (TSE 1789+A1, 2024).

Kavşaklarda daha büyük karp yarıçapları, devrilme riski olmadan daha yumuşak ve daha hızlı dönüşler sağladıkları için önemlidir. Ek olarak, uygun görüş mesafesi iyileştirmeleri de gecikmeleri ve potansiyel kazaları azaltmaktadır. Dönel kavşaklar ambulans girişinin yakın olduğu kavşaklarda, acil durum araçlarında öncelik kuralını korurken, trafik akışını yönetmeye yardımcı olur. Modern dönel kavşakların sinyalizasyona kıyasla hızlı olması durumu mevcuttur, ayrıca ambulans güvenliği açısından hızın bir

miktar düştüğü kesim olduğu için tercih edilmektedir (Snyder vd., 2013).

Manevra alanı ve dönüş yarıçapları, ambulans giriş yollarında en önemli parametrelerden biridir. Çalışmalar göstermektedir ki, minimum dönüş yarıçapı ambulansın boyutlarına ve hızına bağlı olarak değişmekte ve tasarım sürecinde kritik bir değişken olarak ele alınmalıdır. Çalışmalar, ambulansların boyutlarına ve yüksek hızlarına uyum sağlamak için iç dönüşler için minimum 6-8 metre ve dış dönüşler için 10-12 metreye kadar genişlik ihtiyacı olduğunu ve tasarımlarda kullanılmasını önermektedir. Bununla birlikte acil girişlerindeki dönüş yarıçapları asgari gereksinimleri karşılayabilmesi için 9-12 metre arasında dönüş yarı çapı kullanılabilir. Bazı ambulans tiplerinde 15 metrelik dönüş yarıçapı kullanılmaktadır. Genel olarak iç ve dış dönüş yarı çapları için bahsedilen standartlar kullanılmakta fakat, hız değişimi dönüş çap değerlerini çok değiştireceği için bu durum ayrıca değerlendirilmelidir. Standartlar bu konuda eksik kalabilmektedir. Bu eksikliğin giderilmesi için iyi bir kaynak olarak bu çalışma gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada yurt dışındaki ambulans giriş yolu uygulamaları karşılaştırmalı olarak incelenmiş ve iyi mühendislik yaklaşımları analiz edilmiştir. Bununla birlikte yurt içi fazla çalışmaya rastlanamamıştır.

Yapılan kaynak incelemeleri ve saha değerlendirmeleri sonucunda, geometrik standartlara uygun acil giriş tasarımlarından biri olarak Isparta Şehir Hastanesi Acil Ambulans Girişi belirlenmiştir. Bu hastanenin ambulans giriş yolu ve hasta indirme alanının, TS EN 1789+A1 (2024) gibi ulusal ve uluslararası standartlar doğrultusunda tasarlandığı ve güvenli geometrik düzenlemeleri sağladığı tespit edilmiştir (Atasever, 2018; Yılmaz ve Uslu, 2022). Bu nedenle, çalışmada literatür taramasına ek olarak mevcut iyi uygulamalardan biri olan Isparta Şehir Hastanesi örneği de dikkate alınarak, kritik güvenlik parametreleri belirlenmiştir.

Bu çalışma, ambulans giriş yollarının mevcut tasarım yeterliliğini incelemek ve simülasyon tabanlı analizler ile yeni tasarım önerileri sunmak amacıyla gerçekleştirilmiştir. Ülkemizde bu konuda yapılmış bilimsel çalışmaların eksikliği çalışmanın ilerleyiş motivasyonunu desteklemiştir. Özellikle Türkiye'deki hastane ambulans yollarında simülasyon tabanlı değerlendirme yapılmamış olması, bu çalışmanın bu konudaki eksikliği gidermeye destek olması açısından nemlidir. Ambulans giriş yollarının mühendislik uygunluğu ve trafik güvenliği açısından değerlendirilmesi amacıyla seçilen iki farklı şehirdeki devlet hastanesi örnekleri için, literatür taraması ve ideal ambulans girişleri üzerine yapılan incelemeler doğrultusunda, en kritik tasarım parametreleri belirlenmiştir.

AutoTURN simülasyonları ile farklı hız senaryolarında ambulans manevraları analiz edilerek, dönüş yarıçapı, şerit genişliği, eğim ve araç çakışmaları gibi faktörlerin hasta taşıma sürecine etkisi değerlendirilmiştir. Sonuçlar, mevcut düzenlemelerin yetersizliklerini ortaya koyarken, standart yaklaşımların ötesine geçen, trafik ve operasyonel verimliliği artıran alternatif tasarımlar önerilmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1 Çalışma Alanı Tanımlanması ve Problemin Tespiti

Çalışma alanı olarak iki farklı bölgede yer alan, Siirt ve Isparta şehirlerinde bulunan, Siirt Eğitim ve Araştırma Hastanesi (SEA Hastanesi) ve Isparta Süleyman Demirel Üniversitesi Araştırma ve Uygulama Hastanesi (SDU Tıp) Acil giriş yolları ve manevra alanları seçilmiştir.

2.1.1. Siirt Eğitim ve Araştırma Hastanesi Ambulans Giriş Yolu

Siirt merkez ilçesinde yer alan Siirt Eğitim ve Araştırma Hastanesi (SEA), 2014 yılında hizmete girmiş olup 51.306 m² kapalı alana sahiptir (Şekil 1). 300 yatak kapasiteli bu sağlık tesisi, Siirt ve çevre illerden gelen geniş bir hasta grubuna hizmet vermektedir.

Hastaneye araç girişleri iki farklı kapı üzerinden sağlanmaktadır. Ana giriş, genel ziyaretçi otoparkı ve poliklinik hizmetleri için kullanılırken, acil giriş hasta yakınları, yatış yapan hastaların refakatçileri, hastane personeli ve

ambulanslar tarafından kullanılmaktadır.

Acil giriş yolu, trafik akışını düzenlemek açısından çok işlevli bir erişim noktası olmasına rağmen, ambulansların hızlı ve kesintisiz bir şekilde hasta transferini gerçekleştirmesi için tasarım yeterliliği açısından değerlendirilmesi gereken çeşitli mühendislik parametrelerine sahiptir. Çalışmada, SEA Hastanesi ambulans giriş yolu, mevcut trafik düzenlemeleri ve yol geometrisi açısından analiz edilerek, olası iyileştirme senaryoları geliştirilmiştir.



Şekil 1. Siirt Eğitim Araştırma Hastanesi mevcut acil giriş ambulans yolu.

Yoğun yaya ve araç trafiği gözlemlenmiştir ve bu trafik, ambulans hareketi ile birçok noktada çakışmaktadır. Aynı bir ambulans giriş ve çıkış yolunun bulunmaması, hastane içi trafik yönetimini karmaşık hale getirmekte ve ambulansların hasta transfer sürecini olumsuz etkilemektedir. Özellikle, personel otoparkı-B'ye gitmek isteyen araç ve yayalar, ambulans giriş yolu ile

doğrudan kesişmekte ve bu durum, acil servis alanında operasyonel verimliliği düşürmektedir.

Yapılan saha gözlemleri, personel otoparkının yalnızca hastane çalışanları tarafından değil, yetkisi olmayan kişiler tarafından da yoğun olarak kullanıldığını göstermektedir. Bunun sonucu olarak, ambulansların hasta indirme bölgesinde aşırı araç trafiği, düzensiz park alanları ve yoğun yaya hareketliliği tespit edilmiştir. Bu durum, acil servise gelen ambulansların güvenli ve hızlı manevra yapmasını zorlaştırmaktadır.

Kaynak incelemeleri sonucunda, SEA Hastanesi ambulans giriş yolu şerit genişliğinin, mühendislik standartlarına uygun şekilde 9 metre olduğu belirlenmiştir. Ancak, yol kenarındaki düzensiz araç parkı nedeniyle farklı yönlerden gelen araçların geçişi büyük ölçüde kısıtlanmaktadır. Acil giriş kapısının önündeki yol bölünmemiş bir yol olup (Şekil 1-b), karşı cephesinde süregelen inşaat faaliyetleri nedeniyle araç giriş-çıkışlarının yoğun olduğu gözlemlenmiştir. Bu alana giriş yapan beton mikserleri, kamyonlar ve ağır vasıta araçlar, ambulans hareketliliği açısından beklenmedik bir güvenlik riski oluşturmaktadır.

İnşaat tamamlandıktan sonra bile, bölgede araç giriş çıkışlarının yüksek yoğunlukta devam etmesi beklendiğinden, ambulans giriş güvenliği için ilave düzenlemelerin yapılması gereklidir. Acil servisin giriş

kapısı, personel otoparkına giden araçlar, acile gelen hasta yakınları ve yataklı hasta refakatçileri tarafından da kullanıldığından, ambulanslar sürekli olarak diğer araç ve yayalarla karşılaşmaktadır.

Şekil 1-a'da da görüldüğü üzere, acil giriş kapısında farklı yönlerden gelen 4 ila 5 araç aynı anda karşılaşabilmektedir. Hasta indirme alanı, düzensiz araç parkları nedeniyle sürekli olarak işgal edilmekte ve bu da ambulans operasyonlarını olumsuz etkilemektedir. Manevra alanlarını korumak amacıyla saksılar kullanılarak geçici bir fiziksel bariyer oluşturulmuş olsa da, bu önlem ambulansların dönüş ve giriş hareketlerini daha da zorlaştırmaktadır.

Literatür incelemeleri, ambulans giriş yollarında maksimum eğimin %10'u geçmemesi gerektiğini göstermektedir. Yapılan ölçümler doğrultusunda, Siirt SEA Hastanesi acil ambulans giriş yolu ve devamında ambulans hareketlerini kısıtlayıcı bir eğim tespit edilmemiştir (Şekil 1). Ancak, ambulans manevra alanlarının genişliği, yolun ayrılmamış oluşu, düzensiz araç parkı gibi faktörlerin operasyonel verimlilik açısından iyileştirilmesi gerektiği belirlenmiştir.

2.1.2. Süleyman Demirel Üniversitesi Araştırma ve Uygulama Hastanesi Ambulans Giriş Yolu

Süleyman Demirel Üniversitesi (SDÜ) Araştırma ve Uygulama Hastanesi, Isparta'da SDÜ Doğu Kampüsü

içerisinde konumlanmış olup, 2 Ocak 2001 tarihinde hizmete girmiştir. 400 yatak kapasitesine sahip olan bu sağlık tesisi, Akdeniz Bölgesi'nde önemli bir hasta yoğunluğunu karşılamaktadır.

2019 yılına kadar trafik güvenliği ve ambulans erişimi açısından ciddi bir sorun teşkil etmeyen hastane giriş yolları, zamanla hasta nüfus yoğunluğunun artmasıyla birlikte ambulans hareketliliğini olumsuz etkileyen trafik problemleri ile karşılaşmaya başlamıştır. Bu doğrultuda, hastane yönetimi ambulans giriş ve çıkışlarının kesintisiz sağlanabilmesi amacıyla çeşitli önlemler almıştır. Bu önlemler arasında:

- Acil servis önündeki park alanlarının düzenlenmesi,
- Ambulans güzergâhlarının belirgin işaretlerle yönlendirilmesi,
- Personel ve ziyaretçilere yönelik bilgilendirme çalışmaları yer almaktadır.

Ancak, alınan bu önlemlere rağmen, acil giriş alanında araç çakışmaları ve düzensiz park alanı sorunu devam etmekte, hasta transfer süreçlerinde gecikmelere yol açmaktadır.

Kaynak incelemeleri doğrultusunda, acil durum araçları giriş yolları için belirlenen geometrik tasarım standartlarında, şerit genişliğinin tek yönlü trafik akımı için 3,5-4,5 metre; çift yönlü trafik için ise 7-8 metre olması gerektiği belirlenmiştir. Yapılan saha ölçümleri, SDÜ Hastanesi ambulans giriş yolunun şerit genişliği açısından mevcut standartlara uygun olduğunu göstermektedir. Ancak, Şekil 2-a'da

görüldüğü üzere, yol kenarındaki düzensiz araç parkları nedeniyle ambulans hareketliliğini kısıtlayan ve operasyonel güvenliği tehdit eden standart dışı durumlar gözlemlenmiştir. Ayrıca, acil durum tesislerine ulaşan yolların ambulanslar için özel şeritler içermesi gerektiği literatürde sıkça vurgulanmaktadır. Bu gereklilik, ambulansların hasta taşıma sürecinde gecikmelerin önlenmesi ve kesintisiz erişimin sağlanması açısından kritik bir unsur olarak değerlendirilmiştir.

Boyuna eğimi %10'u geçmemesi gereken ambulans giriş yolları, dik eğimlerle karşılaşıldığında, özellikle ıslak veya buzlu koşullarda araç kontrolünü engelleyebilir. Kademeli eğimler güvenliği artırır ve aracın frenlerindeki stresi azaltır. Mevcut ambulans giriş ana yolunda boyuna eğim değeri sınır değerler içindedir. Bununla birlikte giriş kavşağı yarı çapları ve görünürlük incelendiğinde mevcut anayol girişinde ardı ardına gelen ters yatay kurp durumu ambulansların özellikle yağışlı havalarda güvenliğini tehlikeye sokmaktadır.



Şekil 2. SDÜ Tıp Fakültesi Araştırma ve Uygulama Hastanesi mevcut acil giriş ambulans yolu.

Tüm bu geometrik problemler ve hasta nüfus artışı durumu daha güvenli bir acil ve yoğun bakım giriş yolu inşasının gerekliliğini ortaya çıkarmış, bunun için üniversite hastanesinin arka tarafında acil ve yoğun bakım ünitesi inşaatına başlanmıştır. En önemlisi, yapılan yeni inşaatın acil girişi de arka taraftan ayrı bir ambulans giriş yolu olarak tasarlanmalıdır, diğer araçlar ve yayalarla etkileşim içinde olmamalıdır (Şekil 3).



Şekil 3. SDÜ TIP Fakültesi Araştırma ve Uygulama Hastanesi yeni (çalışmada kullanılan) acil binası yeri ve ambulans giriş yolu.

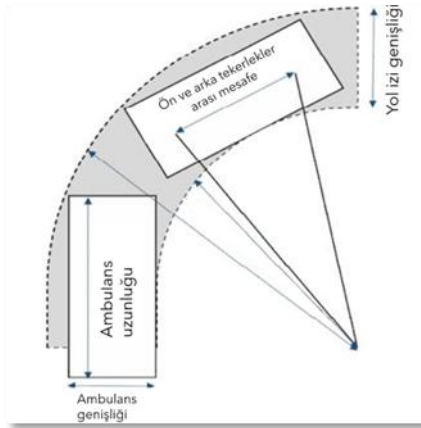
Çalışmanın yöntem kısmında, ambulans giriş-çıkış yollarını iyileştirmek amacıyla yol izleri analizini ve çok gövdeli dinamik simülasyonu birleştiren bir analiz gerçekleştirilmiştir.

2.2. Yöntem

Teknolojinin gelişmesi ve bilgisayar destekli simülasyon yazılımlarının sağladığı kolaylıkla standartların içinde kalan değerleri de kullanarak farklı hızlarda yaklaşım sağlayabilen ambulanslar için en uygun yol genişlikleri, yol eğimleri veya manevra alanlarını tespit etmek mümkün hale gelmiştir. Bu çalışmada ambulans girişlerinde gerekli olabilecek güvenli

manevra alanının ve dönüş yarıçaplarının, şerit genişliklerinin en uygun hangi değerleri alabileceği ortaya konması için yol izleri analizini ve çok gövdeli dinamik simülasyonu birleştiren bir analiz gerçekleştirilmiştir.

2017 yılında, Hwang vd. çok gövdeli dinamik simülasyon yöntemi ile aracın dönüş yaparken ki stabilitesini inceleme imkânı elde etmiştir (Şekil 4). Hız, eğri açısı, genişlik ve eğim, bir aracın koridorda hareket ederken ki yol izini etkileyen faktörlerdir.



Şekil 4. Aracın yol izi (Swept path: Hwang vd., 2017).

Bu yöntem, özellikle dönel kavşak geometrisinin güvenli olarak geliştirilmesinde kullanılmış ve gerçek manevra dönüş ve hareket açılarını, kullandıkları alanları sadece 5 cm sapma ile tespit etmiştir (Džambas vd., 2021; Carrasco ve Pecanac, 2004; Saha, 2021). Bu nedenle hızlı ve ekonomik planlamada kolaylaştırıcı bir araç haline gelmiştir. Çalışmamızda materyal kısmında incelenen iki farklı şehirdeki hastanenin acil giriş yolu ve ambulans hasta indirme alanı manevra sahası,

AutoTURN yol izi simülasyon programı ile değerlendirilmiştir.

AutoTURN, **AutoCAD** için geliştirilen bir Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD) yazılımıdır. Bu yazılım algoritması sayesinde araçların süpürülen yollarını takip edebilir ve farklı hızlardaki yaklaşımlar için geometrik manevra çizimleri oluşturulabilir.

Çalışmada, ambulans giriş yollarının geometrik uygunluğunu değerlendirmek amacıyla simülasyon tabanlı analizler gerçekleştirilmiştir. Analizler, AutoCAD ortamında hazırlanan hastane yerleşim planları üzerine, AutoTURN yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Senaryoların oluşturulmasında, iki farklı ambulans tipi (7,5 m ve 8,5 m uzunluğunda, 2,5 m genişliğinde) kullanılmıştır. Simülasyonlarda ambulans hızları, saha gözlemleri ve ambulans şoförleriyle yapılan görüşmeler sonucu 10 km/s, 20 km/s, 30 km/s ve 40 km/s olarak belirlenmiştir. Şerit genişliği (3–3,5 m), dönüş çapı (minimum 25 m), yol eğimi ($\leq 10\%$), bordür kenar boşlukları ve manevra alanı boyutları analiz parametreleri olarak kullanılmıştır. Simülasyonlar sayesinde, ambulansların farklı hızlardaki dönüş manevraları, güzergâh üzerindeki çakışmalar ve bordür temasları incelenmiş, en uygun senaryolar belirlenmiştir.

Program için ilk olarak program kütüphanesinden en uygun ambulans boyutları seçilmiştir. Bu ambulans tiplerinin seçimi için acilde çalışan ambulans şoförleri ile görüşmeler gerçekleştirilip alınan bilgiler

doğrultusunda, hasta ambulansı ile obezite problemi yaşayan veya yeni doğan bebeklerin nakli için kullanılan bir ambulans türü (obez ambulans) boyutları seçilmiştir (Şekil 5). Seçilen ambulans tiplerinin ikisi için de giriş yolu ve manevra çalışması gerçekleştirilmiştir. Ambulans şoförlerinden alınan bilgiler ile ambulans yolunda kent içinde, yolun alıyman kısımlarında 70-80 km/st; yatay kurba kesimlerde 30-40 km/st, yavaşlama manevrası yaptığı kesimlerde 20 km/st hız kullandıkları öğrenilmiş ve her kesim için gerekli hız

parametresi simülasyona uygulanmıştır. Bu uygulama kullandığımız simülasyonun gerçeğe uygunluğu açısından en büyük avantajdır. Yüksek hız, direksiyon açısını azaltabilir ve daha geniş dönüşlere neden olabilir. Yazılımın desteği ile güzergahtaki belirli noktalarda farklı hızlar kullanılabilmiştir. Farklı güzergâh yörüngeleri izlenebilmiştir. Böylece bir yol tasarımının ön koşulu (Carrasco, 1995) olan araçların dönüş gereksinimlerini kontrol edebilmek mümkün olmuştur.



Select Current Vehicle
City Vehicle - Emergency - Medix Metro Express 153 (2018)
Unit: - Metric

id	Source Publication	Name	Type	Length (m)	Width (m)	Height (m)
1	Vehicle Manufacturer	Mercedes-Benz Sprinter 417 (2018)	Emergency Vehicle	7.00	2.10	2.70
2	Vehicle Manufacturer	Mercedes-Benz Sprinter 417 (2018)	Emergency Vehicle	6.99	2.10	2.70
3	Vehicle Manufacturer	Mercedes-Benz Sprinter 417 (2018)	Emergency Vehicle	7.00	2.10	2.70
4	Vehicle Manufacturer	Mercedes-Benz Sprinter 417 (2018)	Emergency Vehicle	6.99	2.10	2.70
5	Vehicle Manufacturer	Mercedes-Benz Sprinter 417 (2018)	Emergency Vehicle	6.99	2.10	2.70
6	Vehicle Manufacturer	Mercedes-Benz Sprinter 417 (2018)	Emergency Vehicle	6.99	2.10	2.70
7	Vehicle Manufacturer	Mercedes-Benz Sprinter 417 (2018)	Emergency Vehicle	6.99	2.10	2.70
8	Vehicle Manufacturer	Mercedes-Benz Sprinter 417 (2018)	Emergency Vehicle	6.99	2.10	2.70
9	Vehicle Manufacturer	Mercedes-Benz Sprinter 417 (2018)	Emergency Vehicle	6.99	2.10	2.70
10	Vehicle Manufacturer	Mercedes-Benz Sprinter 417 (2018)	Emergency Vehicle	6.99	2.10	2.70



Select Current Vehicle
City Vehicle - Emergency - Medix Metro Express 153 (2018)
Unit: - Metric

id	Source Publication	Name	Type	Length (m)	Width (m)	Height (m)
1	Vehicle Manufacturer	Mercedes-Benz Sprinter 417 (2018)	Emergency Vehicle	7.00	2.10	2.70
2	Vehicle Manufacturer	Mercedes-Benz Sprinter 417 (2018)	Emergency Vehicle	6.99	2.10	2.70
3	Vehicle Manufacturer	Mercedes-Benz Sprinter 417 (2018)	Emergency Vehicle	7.00	2.10	2.70
4	Vehicle Manufacturer	Mercedes-Benz Sprinter 417 (2018)	Emergency Vehicle	6.99	2.10	2.70
5	Vehicle Manufacturer	Mercedes-Benz Sprinter 417 (2018)	Emergency Vehicle	6.99	2.10	2.70
6	Vehicle Manufacturer	Mercedes-Benz Sprinter 417 (2018)	Emergency Vehicle	6.99	2.10	2.70
7	Vehicle Manufacturer	Mercedes-Benz Sprinter 417 (2018)	Emergency Vehicle	6.99	2.10	2.70
8	Vehicle Manufacturer	Mercedes-Benz Sprinter 417 (2018)	Emergency Vehicle	6.99	2.10	2.70
9	Vehicle Manufacturer	Mercedes-Benz Sprinter 417 (2018)	Emergency Vehicle	6.99	2.10	2.70
10	Vehicle Manufacturer	Mercedes-Benz Sprinter 417 (2018)	Emergency Vehicle	6.99	2.10	2.70

Şekil 5. Hastanelere gelen ambulans tipleri ve boyutlarının simülasyon programında seçimi.

Çalışmanın simülasyonlarını kategorize etmeye yardımcı olan altı ana senaryo Tablo 1’de verilmiştir. Deneme yapılan ve önerilen senaryolarda sağa dönüş, sola dönüş, ileri gidiş ve geri

manevralarının yol şerit genişliği ve mevcut köşe dönüşlerdeki kaldırım bordür yarıcağı ilişkisi ile manevra alanı genişliği değerleri etkileşimi incelenmiştir. Bu değerlendirmelere bulgular kısmında yer verilmiştir.

Tablo 1. Yıllık ve mevsimlik ortalama verilerin tanımlayıcı istatistik sonuçları.

Senaryo No	İsmi	T Kav. Hareket Türü	Acil Hareket Türü	G. Hız (Km/st)	Ambulansa özel yol
1	Mevcut Durum SDÜ	SaD, SoD, DG	SaD, GM, SD	20, 25, 30, 35, 40	yok
2	Yeni Giriş1-SDÜ	SoD, SaD, DG	SoD, SaD, GM, DG	20, 25, 30, 35, 40	var
3	Yeni Giriş2-SDÜ (Önerilen)	SoD, SaD, DG	SoD, SaD, DG	20, 25, 30, 35, 40	var
4	Mevcut Durum SEA	SoD, SaD, DG	SoD, SaD, GM, DG	20, 25, 30, 35, 40	yok
5	Yeni Giriş1-SEA	SoD, SaD, DG	SoD, SaD, GM, DG	20, 25, 30, 35, 40	yok
6	Yeni Giriş2-SEA (Önerilen)	SoD, SaD, DG	SoD, SaD, DG	20, 25, 30, 35, 40	var

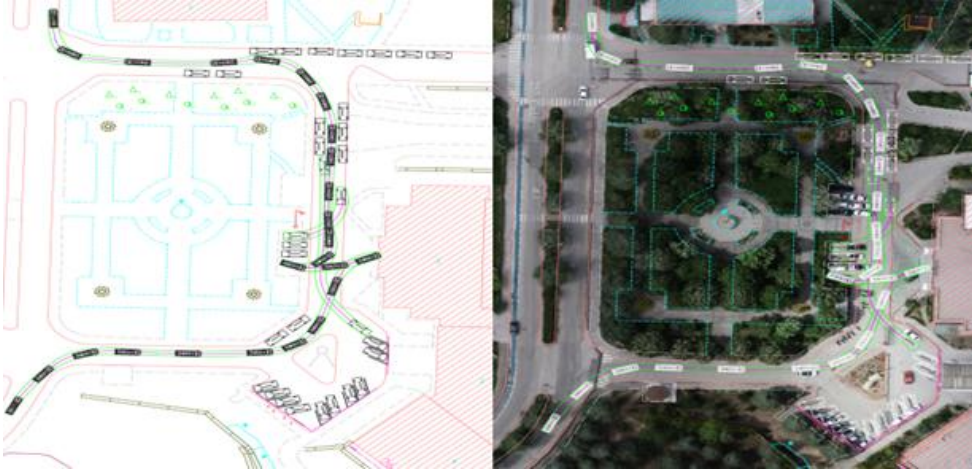
Not: 'SaD'= sağadönüş hareketi; 'SoD'= soladönüş hareketi; 'DG'= düz ilerleyiş; 'GM'= geri manevra

3. Yol İzi Analizi ve Bilgisayar Simülasyonu Bulguları

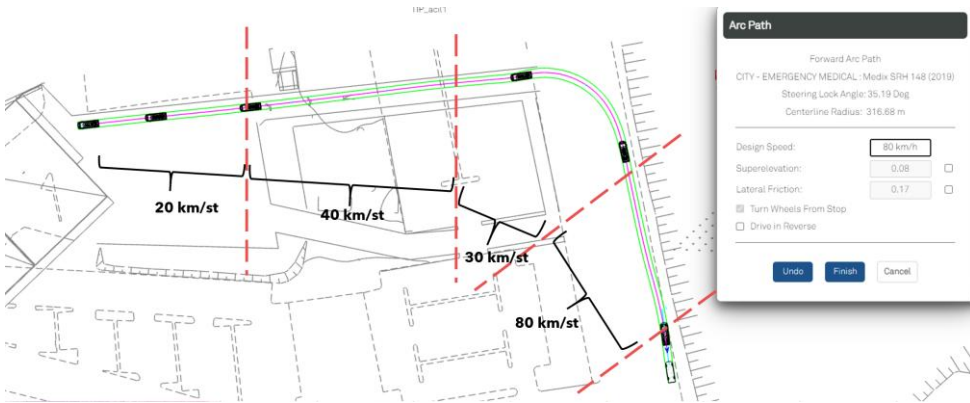
İlk olarak SDÜ Araştırma ve Uygulama hastanesi mevcut durumdaki acil girişi simülasyonu ve girişteki diğer araçlarla çakışma noktaları belirlenmiştir (Şekil 6). Mevcut durumdaki acil girişi baş hekimlik otopark girişi ile birliktedir. Ambulans park yerlerine hasta araçları park edilebilmektedir. Ek olarak, hasta araçları ve motosikletler acil girişi yol kenarlarına park edebilmektedirler ve sıklıkla tehlikeli durumlarla karşılaşabilmektedir. Simülasyon 1'de ambulans için kullanılan hız değerleri, diğer araçlarla çakışmalar ve girişte yol geometrisinde karşılaşılan ters yatay kurp nedeniyle 10 ve 20 km/st gibi düşük değerler tutulmuş artırıldığında ambulans ile diğer araçların hem çakıştığı hem de manevra sırasında park halindeki araçlara çarpma şeklinde olumsuz durumların olduğu görülmüştür. Sonuç olarak Üniversite

Yönetiminin ve Isparta Belediyesinin desteği ile Hastanenin arka cephesinde bir Acil ve Yoğun bakım binası inşa edilmeye başlanmış, bunun için de Senaryo 2 ve Senaryo 3 denemeleri gerçekleştirilmiştir.

SDÜ Araştırma ve Uygulama hastanesi yeni acil girişi için gerçekleştirilen simülasyon çalışmasında en uygun tasarım hızları ambulans şoförleri ile görüşme sonrası Şekil 7'deki gibi belirlenmiştir. Hızlar görüşülürken ambulans şoförlerinden de yaşadıkları en büyük problemlerden birinin giriş yolunda diğer araçların olması olduğu ve ambulans araç çakışmalarının olduğu belirlenmiştir. Bu durum literatürden öğrenileni de desteklemektedir. Simülasyonda önerilen senaryolar kısmının tümünde, sadece ambulans yolu olarak ayrılmış güzergahlar ve manevra alanları tasarlanmıştır..



Şekil 6. SDÜ Araştırma ve Uygulama hastanesi mevcut durumdaki acil girişi simülasyonu, Senaryo 1.



Şekil 7. SDÜ Araştırma Hastanesi yeni acil yolu ambulans giriş yolu ambulansın kullanabileceği genel hız değişimleri.

Uygulamadan seçilen Şekil 7'daki giriş hızına ek olarak 10 km/st, 20 km/st, 25 km/st, 30 km/st, 35 km/st ve 40 km/st acile yaklaşma hızları da kullanılmıştır.

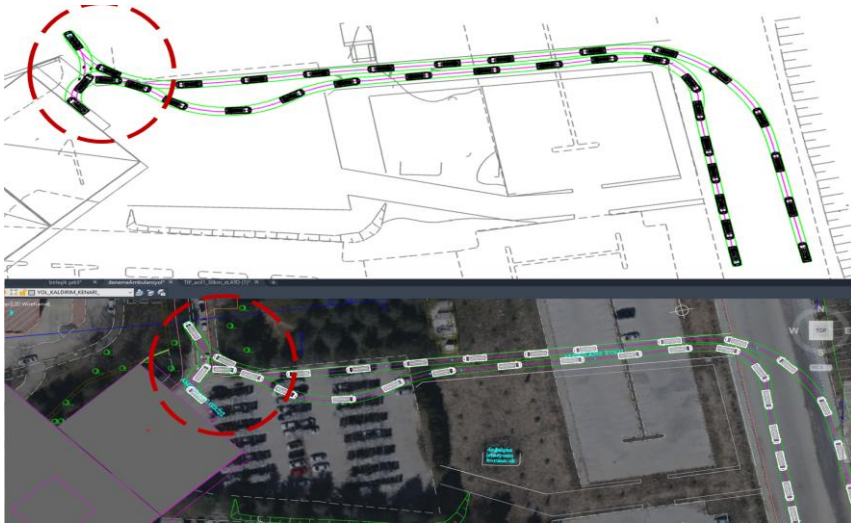
Özellikle dar dönüşlerin ve yüksek manevra gerektiren yolların, araçların güvenli geçişini sağlamak için özel tasarımlar gerektirdiği bilinmektedir. Burada tasarlanan girişte ambulansın hasta indirme bindirme yönü de dikkate alınmıştır. Hızdaki en kritik değer ile

oluşturulabilecek iki ambulans giriş yolu senaryosu (Senaryo 2 ve Senaryo 3) Şekil 8 ve Şekil 9'da verilmiştir.

Senaryo 2'de (Şekil 8) elde edilen güzergâh çizimi ve ambulans manevralarına ulaşmak için 10 adet deneme çizim gerçekleştirilmiştir. Bunların her biri iki tür ambulans ve bunların farklı hızdaki versiyonları içindir. Buna rağmen, muhtemel en uygun çizimde görüldüğü gibi, binanın

acil girişinin arazideki konumu nedeniyle hasta indirme-bindirme girişine yapılan yaklaşma manevrası için çok dar bir alan mevcuttur. Bu durum ikinci bir ambulansın girişine müsaade etmeyip ambulans-ambulans çakışmalarını da arttırmaktadır. Ayrıca ambulansın çok dar bir alan içinde geri manevra yapmasına sebep olmaktadır. Hız arttıkça bu manevra olanaksız hale gelmekte, bordür taşları ve kaldırım üzerinden geçişe neden olabilmektedir. Giriş süresini de arttırmaktadır. Geri manevra alanında kaldırım ve bordür taşlarına ambulansın çarptığı görülmektedir. Senaryo 3 için elde edilen manevra çizimi için de 10 adet deneme çizimi gerçekleştirilmiştir.

Bunların her biri iki tür ambulans ve bunların farklı hızdaki versiyonları içindir. En uygun çizim Şekil 9'da verilmiştir. Bu çizimde de görüldüğü gibi Ambulans girişi, manevrası ve çıkışı Senaryo 2'den daha rahat gerçekleştirilmiş, geri manevra yapmaya gerek kalmamıştır. Ayrıca Ambulans giriş yolu standartlarında olması gerektiği gibi giriş ve çıkış yolu bölünmüş yol şeklinde dizayn edilebilecek alan mevcuttur. Sadece bir noktada çakışma gerçekleşmesi muhtemeldir, o da orta ada düzenlemeleri ile daha güvenli hale getirilebilecektir.



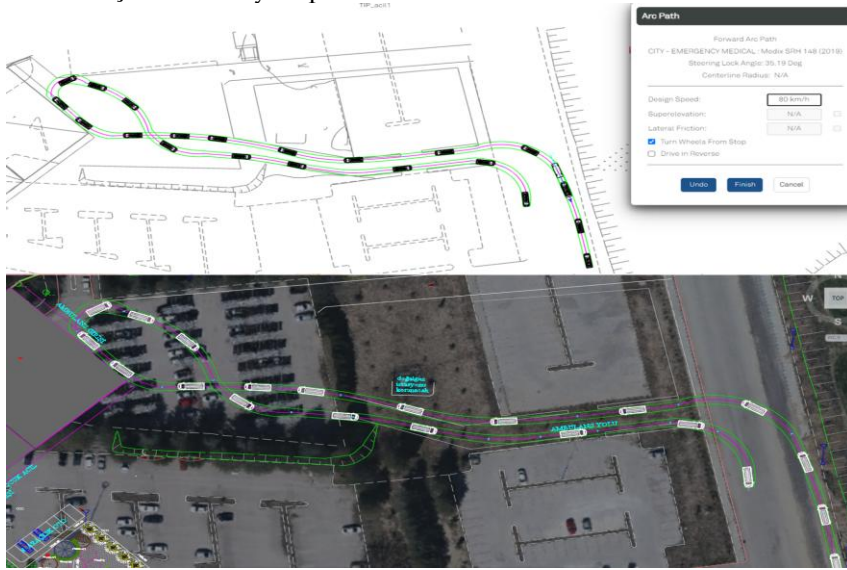
Şekil 8. SDÜ Araştırma Hastanesi yeni acil girişi (senaryo 2).

Şekil 9'da otopark alanı olarak görülen kısımda Ambulans giriş düzenlemesi için gerekli adımlar atılmaya başlanmıştır. Bu alan sadece Ambulans parkına ayrılacak ve başka bir aracın girmemesi sağlanacaktır. Bu konuda Süleyman Demirel Üniversitesi gerekli çalışmalara başlamıştır. Bu da ambulans

yolu güvenli geometrik dizaynı ve işletmesini desteklemektedir. Ayrıca boyuna eğim, şerit genişliği gibi parametreler de arazi için uygundur. Ambulansın ana yoldan girişlerinde ters karp mevcut değildir. Kavşakta görüş kısıtlayıcı bir unsur yoktur.

İkinci çalışma alanı olarak Siirt Eğitim ve Araştırma (SEA) hastanesinde görev yapmakta olan ambulans şoförleri ile gerçekleştirilen görüşmede, şehir merkezi ve kavşaklarda büyük problem

yaşamadıklarını, şehirdeki sürücülerin kendilerine saygılı davrandıklarını ifade etmişlerdir.



Şekil 9. SDÜ Araştırma Hastanesi düzenlenecek acil girişi (Senaryo 3).

Fakat, yaşadıkları problemin en büyüğünün acil giriş kapısındaki çakışmalar olduğunu belirtmişlerdir.

SEA hastanesi mevcut durumdaki acil girişi simülasyonu gerçekleştirilmiştir (Şekil 10- Simülasyon 4). Hastanesinin acil giriş kapsının sağında ve solunda misafir ve personel otoparkları bulunmaktadır. Ek olarak hasta acil kapısı da bu bölgede olduğu için acile gelen hastalar ve yataklı hasta ve yakınları da bu kapıyı kullanmaktadır. Ambulans yol güzergahı üzerinde, park halinde bulunan araçlar ve yoğun yaya hareketliliği görülmektedir. Ayrıca acil giriş önünde ambulansın manevra yapacağı yerde de araç parkları söz konusu olmaktadır. Hastane yönetimi bu problemi kendi özelinde, ambulansın

manevra yapacağı bölgelere araç park yapılmaması amacıyla büyük çiçek saksıları koymuştur. Bu yöntem araç parklanmasını önlese de ambulansın manevra yapacağı alanı kısıtlamaktadır. Simülasyon 4'te (Şekil 10) ambulans dönüşleri için kullanılan en uygun hız değerleri, 10 ve 20km/st olmuştur.

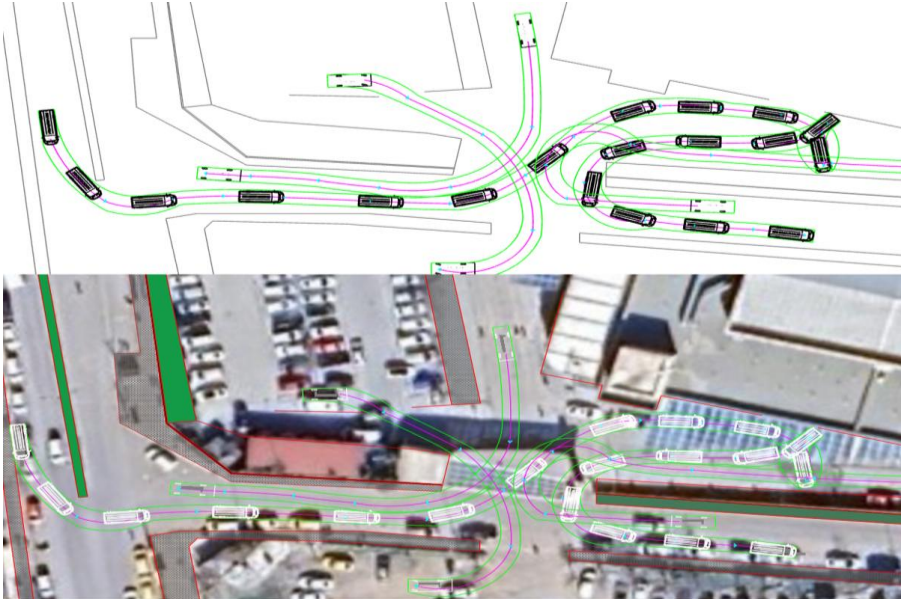
Daha yüksek hızlarda dönüşte bordür veya kaldırım üstü geçişler oluşmaktadır. Ayrıca ambulans mevcut hastane girişine geldiğinde, otoparktan çıkan, otoparka veya acile gitmeye çalışan hasta ve personel araçlarıyla dört farklı çakışma noktası oluşturmaktadır (Şekil 11). Bu nedenle girişteki ambulans hızı 10 ve 20 km/st gibi düşük değerler olmalıdır. Arazi incelemesinde de daha yüksek hızda giriş yapan ambulansların

diğer araçlarla hem çakıştığı hem de manevra sırasında park halindeki araçlara çarpma şeklinde olumsuz durumların gerçekleştiği görülmüştür.

Senaryo 5'te (Şekil 12) hızın 30 ve 40 km/st olması durumunda ambulansın hareketleri simüle edilmiştir.



Şekil 10. SEA Hastanesi mevcut acil girişi (senaryo 4).



Şekil 11. SEA Hastanesi mevcut acil girişi çakışmaları.

Ambulans bu hızlarda ana yoldan tali yola güvenli bir şekilde dönememektedir. Yol kenarında park halinde bulunan araçlara ve kaldırım bordürlerine çarparak dönüş

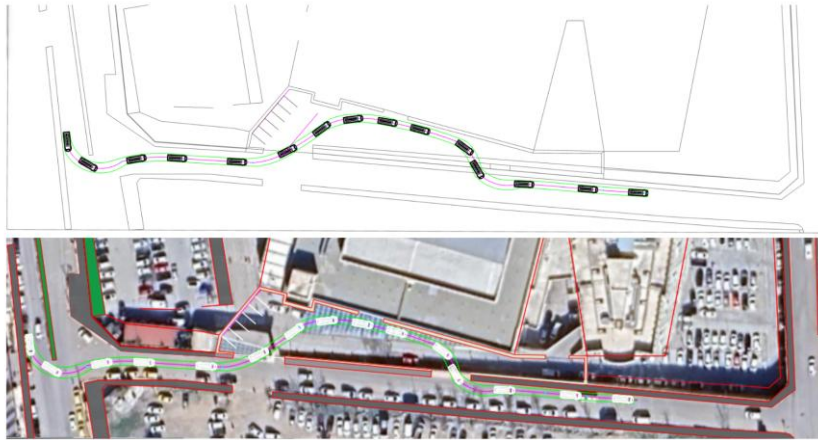
sağlayabilmektedir. Ek olarak, acil girişin önünden de güvenli manevra ile dönüş sağlanmamakta, hastane binasına çarpma durumu söz konusu olmaktadır.



Şekil 12. SEA Hastanesi mevcut acil girişi (senaryo 5).

Sonuç olarak mevcut giriş yolunun sadece ambulansa uygun olarak ayrılmamış olması istenmeyen durumlarla sıklıkla karşılaşılmasına neden olmaktadır. Mevcut durum ve incelenen literatür dikkate alındığında acil girişinde sadece ambulansın

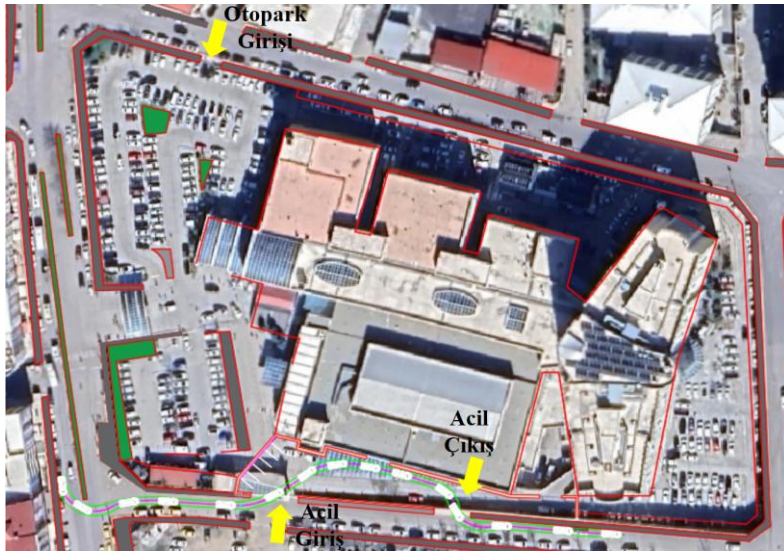
kullanabileceği diğer araçlarla çakışma yaşamayacağı, hastane girişi ve çıkışının farklı kapıdan sağlanabileceği bir ambulans yolu önerisi düşünüldüğü Senaryo 6 denemeleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 13)



Şekil 13. SEA Hastanesi önerilen acil girişi (senaryo 6).

Bu çizimde görüldüğü üzere ambulans yolu diğer araçlardan ayrılmış sadece ambulansın kullanabileceği bir yol düşünülmüştür (Şekil 13). Böylece araç çakışmalarının önüne geçilebilmiş; kısa sürede giriş yapılması ve manevra yapmadan çıkıştan geçilmesi sağlanmıştır. Senaryo 6 ya ek olarak hastane girişlerinin düzenlenmesi önerilebilir. Örneğin Şekil 14'teki gibi

poliklinik ve hastane ana giriş kapısına ek bir kapı açılması ambulans giriş çıkışının ayrılması, diğer otoparklara girişlerin hastanenin diğer yanından yapılması önerilmiştir. Bu sayede acil giriş yolunun bulunduğu yan yol trafiği hafifleyecek ambulans güvenli bir şekilde diğer araçlarla fazla çakışma yaşamadan acile ulaşabilecektir.



Şekil 14. SEA Hastanesi giriş ve çıkış kapıları düzenlemeleri örneği.

Tablo 2. Senaryoların sonucunda elde edilen bulgular.

Senaryo No	İsmi	Ort. Manevra Dönüş Kuru Çapı (m)	Ort. Şerit Genişliği (m)	Ort. Kavşak Kol Açısı (derece)	Bordüre Çarpma	Maks Hız	Min Hız
1	Mevcut Durum SDÜ	16	5	95	Yok	20	10
2	Yeni Giriş1-SDÜ	20	3+3	95	Var	20	10
3	Yeni Giriş2-SDÜ (Önerilen)	25	3+3	95	Yok	40	10
4	Mevcut Durum SEA	13	7,5	85	Var	20	10
5	Yeni Giriş1-SEA	12	5	85	Var	20	10
6	Yeni Giriş2-SEA (Önerilen)	25	5	88	Yok	40	10

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışma, ambulans giriş yollarının trafik akışı ve manevra kabiliyeti açısından tasarım kriterlerine uygunluğunu belirlemek amacıyla simülasyon tabanlı bir analiz sunmaktadır. Elde edilen bulgular, hastane içi trafik yoğunluğuna maruz kalmadan bağımsız hareket edebilen ambulans giriş yollarının planlanmasının kritik bir gereklilik olduğunu ortaya koymuştur.

Arazi incelemeleri, alınan ölçümler ve simülasyonlar sonucunda, ambulans giriş yollarında trafik akışını zorlaştıran çeşitli unsurların olduğu tespit edilmiştir. Özellikle SEA Hastanesi'nin mevcut düzeninde ambulans giriş ve çıkışlarının tek bir noktadan sağlanması, yaya hareketliliğinin yoğunluğu ve yol kenarına park eden araçların manevra alanını daraltması, güvenli dönüşü zorlaştırarak operasyonel verimliliği azaltmaktadır. Zamana karşı yarışılan acil vakalarda, diğer araçların veya birden fazla ambulansın eş zamanlı giriş-çıkış yapması gereken durumlarda çakışmalar kaçınılmaz hale gelmekte ve bu da acil müdahale sürecinde ciddi zaman kayıplarına yol açmaktadır.

Simülasyon sonuçları, mevcut tasarımın ambulans hareketlerini kısıtladığını ve hız düşürüldüğünde dahi yapısal eksikliklerin bu olumsuzlukları tam anlamıyla ortadan kaldırmadığını göstermiştir. Bu bağlamda, SEA Hastanesi için önerilen yeni ayrılmış ambulans giriş yolu düzenlemesi (Senaryo 6), ambulansların bağımsız bir yol üzerinden giriş-çıkış yapmasını sağlayarak operasyonel güvenliği ve hızı

artırma potansiyeline sahiptir. Benzer şekilde, SDÜ Araştırma ve Uygulama Hastanesi'nin mevcut ambulans giriş yolu da artan hasta yoğunluğu nedeniyle yetersiz hale gelmiştir. Dar giriş yolları, düzensiz park alanları ve ters yatay kurp gibi unsurlar ambulans manevralarını kısıtlamakta ve giriş-çıkış süreçlerinde gecikmelere neden olmaktadır. Önerilen Senaryo 3, geri manevra ihtiyacını ortadan kaldırarak hasta transfer sürecini hızlandırmakta ve güvenliği artırmaktadır.

Simülasyon çalışmaları kapsamında, ambulansların farklı hızlarda güvenli dönüş yapabilmeleri için gerekli olan minimum dönüş çapları ve manevra alanları belirlenmiştir. Özellikle yüksek hızlarda güvenli manevra imkânı sunan tasarımların, ambulans trafiği açısından önemli bir avantaj sağladığı tespit edilmiştir. Bu kapsamda yapılan değerlendirmeler sonucunda, SDÜ Hastanesi için Senaryo 3 ve SEA Hastanesi için Senaryo 6 en uygun senaryolar olarak belirlenmiştir.

Senaryo 3 ve Senaryo 6'da, ambulansların 40 km/s hızla manevra yaparken dahi yol kenarı bordürlerine çarpmadan ve şerit dışına taşmadan dönüşlerini güvenli bir şekilde tamamladıkları görülmüştür (Tablo 2). Özellikle, önerilen bu senaryolarda ortalama dönüş çapının 25 metreye çıkarılması ve manevra alanlarının genişletilmesi sayesinde, daha akıcı ve güvenli bir ambulans hareketi sağlanmıştır. Buna karşılık, diğer senaryolarda ambulanslar 20 km/s gibi daha düşük hızlarda bile bordürlere

temas etmiş, bu da mevcut tasarımların yetersizliğini ortaya koymuştur.

Tablodan da görüldüğü üzere, mevcut düzenlemelerde (Senaryo 1 ve 4) maksimum güvenli ambulans hızı 20 km/s ile sınırlı iken, önerilen Senaryo 3 ve Senaryo 6'da bu hız 40 km/s'ye çıkarılmış ve bordür çarpması tamamen önlenmiştir. Ayrıca, önerilen senaryolar sayesinde ambulans yollarındaki diğer araçlarla yaşanan olası çakışmalar da ortadan kaldırılmış ve böylece operasyonel güvenlik ve trafik akıcılığı önemli ölçüde artırılmıştır. Bu bulgular, önerilen tasarımların yalnızca geometrik açıdan değil, aynı zamanda trafik güvenliği ve operasyonel etkinlik açısından da güçlü bir çözüm sunduğunu göstermektedir.

Simülasyon çalışmaları sonucunda aşağıdaki temel öneriler geliştirilmiştir:

- SEA Hastanesi için önerilen yeni ambulans giriş düzenlemesi (Senaryo 6), ambulans yollarını diğer araçlardan ayırarak güvenli giriş-çıkışları mümkün kılmaktadır.
- SDÜ Araştırma ve Uygulama Hastanesi için önerilen yeni acil giriş yolu tasarımı (Senaryo 3), ambulansların hızlı ve güvenli bir şekilde hastaneye erişimini sağlayacak şekilde oluşturulmuştur.
- SDÜ Tıp Fakültesi'nin yeni acil girişinin bulunduğu anayolun çift şeritli ve bölünmemiş yapıda olması, orta refüj ile ayrılarak bölünmüş yol haline getirilmesini gerektirmektedir.

Aynı tasarım prensibi, SEA Hastanesi yan yol girişi için de önerilmektedir.

- Ambulans yollarının belirgin hale getirilmesi amacıyla anayol boyunca ve giriş yollarında farklı renk boya uygulamaları yapılması önerilmektedir. Özellikle kavşak dönüşlerinde ambulans şeritlerinin bisiklet yollarında olduğu gibi net bir şekilde işaretlenmesi, trafik akışını düzenleyerek güvenliği artıracaktır.
- SDÜ Hastanesi'nin yeni acil girişinin yer aldığı ana yol üzerinde bulunan dört kollu kavşak düzenlemesinin yeniden değerlendirilmesi gerekmektedir. Üniversite girişinin doğrudan bu kavşak içine verilmemesi için alternatif tasarımlar düşünülmelidir.

Gelecekte saha testleri ile simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması açısından giriş yolları oluşturulduktan sonra kısa süreli gözlemsel çalışmalar yapılabilir. Literatürde ambulans giriş yolları için kapsamlı tasarım standartlarının eksik olduğu görülmektedir ve bu boşluğun giderilmesi ancak simülasyon programları ile desteklenmiş saha testleri ile sağlanabilir. Hastanelerde ambulans yollarının planlanması sürecinde, hasta yoğunluğu, araç çakışmaları ve trafik akışına yönelik gerçek saha verilerinin simülasyon öncesi çalışmalara entegre edilmesi önem arz etmektedir.

Bu çalışmada yalnızca ambulansların hastaneye giriş yolları analiz edilmiştir.

Ancak, SDÜ Hastanesi önündeki anayol kavşağının düzenlenmesi ve SEA Hastanesi'ndeki anayolun güvenlik açısından detaylı olarak değerlendirilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Bu nedenle, gelecekte yapılacak çalışmalarda yalnızca hastane içi yol düzenlemeleri değil, çevresel yol bağlantıları ve trafik akışı da göz önünde bulundurulmalıdır.

Sonuç olarak, ambulans giriş yollarının etkin bir şekilde planlanması, yalnızca trafik akışını düzenlemekle kalmaz, aynı zamanda hasta güvenliğini artırarak acil müdahalelerin başarısını doğrudan etkiler. Bu çalışmada önerilen düzenlemeler, yalnızca SDÜ Araştırma ve Uygulama Hastanesi ile SEA Hastanesi için değil, benzer trafik ve manevra problemleri yaşayan diğer sağlık tesisleri için de uygulanabilir niteliktedir. Gelecekte, mühendislik temelli tasarım çözümleri ile akıllı ulaşım teknolojilerinin birleştirilmesi, daha güvenli ve sürdürülebilir hastane ulaşım altyapılarının geliştirilmesine katkı sağlayacaktır.

Etik Standartlar Bildirgesi

Bu çalışma kapsamında ambulans şoförleri ile mülakatla kullanılan olası hız değerleri alınmıştır, katılımcılar gönüllü olarak araştırmaya dahil edilmiştir. Mülakat sürecinde, katılımcıların kimlikleri gizli tutulmuş ve elde edilen veriler anonimleştirilerek değerlendirilmiştir.

Bu çalışmada, etik kurul onayı gerektiren bir durum bulunmamaktadır. Yazarlar, bu çalışma ile ilgili herhangi bir çıkar çatışması bulunmadığını beyan etmektedir.

Yazarlık Katkı Beyanı

Yazar 1: Kavramsallaştırma, Metodoloji, Analiz ve Yorumlama, Yazma (Orijinal Taslak Oluşturma)

Yazar 2: Araştırma, Yazma (İnceleme ve Düzenleme) ve Görselleştirme

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarların bu makalenin içeriğiyle ilgili olarak beyan edecekleri hiçbir çıkar çatışması yoktur.

Verilerin Kullanılabilirliği

Bu çalışma sırasında oluşturulan veya analiz edilen tüm veriler, yayınlanan bu makaleye dahil edilmiştir.

5. Kaynaklar

- Atasever, M. (Ed.). (2018). *Şehir hastaneleri araştırması*. Sasam.
- Carrasco, M., & Pecanac, M. (2004). Improved CAD application for low speed vehicle turn simulations. In *Applications of Advanced Technologies in Transportation Engineering* (pp. 350-354).
- Carrasco, M.S. (1995). Turning vehicle simulation: Interactive computer-aided design and drafting application. *Transportation research record*, 1500, 1-11.
- Dimitriou L, Efthymiou D, & Antoniou C. (2018). Saving lives through faster emergency unit response times: role of accessibility and environmental factors. *J Transp Eng*. 144(9):1-9.
- Džambas, T., Dragčević, V., Bezina, Š., & Grgić, M. (2021). Reliability of vehicle movement simulation results in roundabout design procedure based on the rules of design vehicle movement geometry. *Road and Rail Infrastructure VI*; Lakušić, S., Ed.; The University of Zagreb Faculty of Civil Engineering: Zagreb, Croatia, 507-515.
- Hossain, A., Barua, S., Das, S., & Starewich, M. (2025). Ambulance crash risk dynamics: a baseline (2017–2019) vs.

- pandemic-era (2020–2022) comparative study using a random parameter logit model. *Transportmetrica A: Transport Science*, 1-39.
- Hwang, H.T., Lee, S.H., Lee, J.W., Kim, H.C., Woo, M.H., Moon, K.W., ... & Suh, H.W. (2017). Development of a transportability evaluation system using swept path analysis and multi-body dynamic simulation. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 31, 5359-5365.
- Lam, S.S.W., Nguyen, F.N.H.L., Ng, Y.Y., Lee, V.P.X., Wong, T.H., Fook-Chong, S.M.C., & Ong, M.E.H. (2015). Factors affecting the ambulance response times of trauma incidents in Singapore. *Accident Analysis & Prevention*, 82, 27-35.
- Noorani, M.M., Khaliq, M.F., Shoaib, M., Sheikh, A., Moughal, U.E., Moazzum, W., & Ali, S.A. (2014). Time intervals and associated factors of emergency treatment: first insight into Pakistani system. *International archives of medicine*, 7(1), 1-9.
- Pan, S., Liu, Z., Yan, H., Chen, N., Zhao, X., Li, S., & Witlox, F. (2024). Automatic identification of bottlenecks for ambulance passage on urban streets: A deep learning-based approach. *Advanced Engineering Informatics*, 62, 102931.
- Saha, U. (2021). A swept path analysis of intersection designs for long combination vehicles.
- Snyder, R., Siegman, P., Huff, H., & McCormick, C. (2013). Best practices. Emergency access in healthy streets. Los Angeles, CA: Los Angeles County Department of Public Health.
- The Nation. 20 Percent of Emergency Patient Deaths Blamed on Traffic Jam Delays [Internet]. 2017 [cited 2020 Mar 7]. Available from: <https://www.nationthailand.com/nationa/30304268>
- Türk Standartları Enstitüsü. (2024). TS EN 1789+A1: Tıbbi araçlar ve donanımları - Kara yolu ambulansları. Ankara: TSE.
- Watanabe, B. L., G. S. Patterson, J. M. Kempema, O. Magallanes, and L. H. Brown. 2019. "Is Use of Warning Lights and Sirens Associated With Increased Risk of Ambulance Crashes? A Contemporary Analysis Using National EMS Information System (NEMSIS) Data." *Annals of Emergency Medicine* 74(1): 101–109
- Wiwekananda, K.S.S., Hamukti, R.P., Yogananda, K.S.S., Calisto, K.E., & Utomo, P.S. (2020). Understanding factors of ambulance delay and crash to enhance ambulance efficiency: An integrative literature review. *Journal of Community Empowerment for Health*, 3(3), 1-9.
- Wolhuter, K. (2015). Geometric design of roads handbook. CRC Press.
- Yılmaz, E., & Uslu, Y. (2022). Şehir Hastanelerinin Sağlık Yönetimi Açısından İyi Uygulama Örneklerinin Değerlendirilmesi: Nitel Bir Analiz. *Gümüşhane Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 11(4), 1296-1319.
- Yoon, S., Albert, L.A., (2020). A dynamic ambulance routing model with multiple response, *Transport. Res. Part E: Logist. Transport. Rev.* 133, 101807.

Research Article

From Via Militaris to Ottoman Times: A Brief History and A Restoration Proposal for the Büyükkarıştıran Bridge

*¹Burcu Funda AYBERKİN, ²Tuğba Erdil DİNÇEL

¹Halic University, Faculty of Architecture, Department of Architecture, İstanbul, Türkiye,
burcuayberkin@halic.edu.tr, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-5998-3054>

²Medipol University, Faculty of School of Fine Arts, Design and Architecture, Department of Architecture,
İstanbul, Türkiye, tuğba.erdil@medipol.edu.tr, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-9914-6805>

Received: 21.02.2025;

Accepted: 28.05.2025

Abstract

The settlements in Thrace have hosted various communities since prehistoric times. From 600 AD, the Roman Empire ruled the region, leaving behind numerous architectural structures. Among these, the one that stands out is Via Militaris, a military road connecting Rome to Constantinople via Belgrade (Singidunum). This route remained in use for nearly 2,000 years and was later repaired and maintained by the Ottoman Empire. Travelers' records from the 13th and 14th centuries confirm that Via Militaris was well-preserved, with bridges built and repaired over time. Given the strategic importance of Thrace, bridge construction likely started early, especially across rivers in the Ergene Basin. The Büyükkarıştıran Bridge, reflecting classical 16th-century Ottoman architectural features, is attributed to Sinan the Architect in monument inventories. However, a reevaluation suggests its origins might predate Sinan's era due to the region's military and economic significance. Its complex structure indicates major renovations during the 16th century. This study documents the bridge's deterioration that have been altered by interventions carried out during different periods and presents a restoration project designed to guide future conservation efforts. The restoration project aims to preserve the structure's original characteristics, ensuring they are passed on to future generations.

Keywords: Büyükkarıştıran Bridge, Restoration, Sinan the Architect, Via Militaris, Cultural Heritage

*¹Corresponding author

To cite this article

Ayberkin, B.F., & Dinçel, T.E. (2025). From Via Militaris to Ottoman Times: A Brief History and A Restoration Proposal for the Büyükkarıştıran Bridge. *Journal of Innovations in Civil Engineering and Technology (JICIVILTECH)*, 7(1), 93-115. <https://doi.org/10.60093/jiciviltech.1644282>

Via Militaris'ten Osmanlı Dönemine: Büyükkarıştıran Köprüsü İçin Kısa Bir Tarihçe ve Restorasyon Önerisi

Öz

Trakya'daki yerleşimler, tarih öncesi dönemlerden itibaren farklı topluluklara ev sahipliği yapmıştır. MS 600 yılından itibaren bölgeyi yöneten Roma İmparatorluğu, birçok mimari yapı bırakmıştır. Bunların arasında öne çıkan, Via Militaris olarak bilinen ve Roma'dan Konstantinopolis'e Belgrad (Singidunum) üzerinden uzanan askeri yoldur. Yaklaşık 2.000 yıl boyunca kullanılan bu güzergâh, Osmanlı İmparatorluğu tarafından da onarılmış ve korunmuştur. 13. ve 14. yüzyıla ait seyyah kayıtları, Via Militaris'in iyi durumda olduğunu, köprülerin inşa edilip belirli dönemlerde onarıldığını göstermektedir. Trakya'nın stratejik önemi göz önüne alındığında, köprü inşaatlarının erken dönemde başladığı ve özellikle Ergene Havzası üzerindeki nehirler boyunca köprülerin inşa edildiği düşünülebilir. Büyükkarıştıran Köprüsü, klasik 16. yüzyıl Osmanlı mimari özelliklerini yansıtmakta olup, anıt envanterlerinde Mimar Sinan'a atfedilmektedir. Ancak, yapılan değerlendirmeler, köprünün yalnızca mimari üslubuna dayanarak değil, bölgenin askeri ve ekonomik önemine bağlı olarak Sinan öncesi döneme ait olabileceğini düşündürmektedir. Köprünün karmaşık yapısı, 16. yüzyılda kapsamlı onarımlar geçirdiğine işaret etmektedir. Bu çalışma, köprünün hasarlı ve farklı dönemlerde yapılan müdahaleler sonucu değişime uğramış bölümlerini belgeleyerek, gelecekteki koruma çalışmalarına rehberlik edecek bir restorasyon projesi ortaya koymaktadır. Restorasyon projesi ile yapının özgün niteliklerinin korunarak gelecek kuşaklara aktarılması hedeflenmektedir.

Anahtar kelimeler: Büyükkarıştıran Köprüsü, Restorasyon, Mimar Sinan, Via Militaris, Kültür Varlığı

1. Introduction

Historical bridges represent a vital component of the built heritage, offering insight into the architectural capabilities, infrastructural planning, and settlement patterns of past civilizations. Ottoman bridges, in particular, reflect not only technical and architectural accomplishments but also the sociopolitical and economic mechanisms through which the empire connected its administrative and commercial networks. Despite their recognized cultural value, many of these structures today face various forms of deterioration due to environmental factors, neglect, and incompatible restoration efforts (Feilden, 2003).

The Büyükkarıştıran Bridge, situated in the Thrace region of Turkey along the historic Via Militaris route, is among these neglected monuments. Although often attributed to Mimar Sinan in heritage inventories, no definitive documentary evidence supports this claim. Strategically located between Istanbul and the Balkan hinterland, the bridge has served as a key transportation link for centuries. Nevertheless, a comprehensive academic study or technically grounded restoration proposal has not yet been developed.

While international literature on the conservation of historic bridges increasingly emphasizes the integration of structural diagnostics, historical context, and stakeholder participation (Feilden & Jokilehto, 1998; ICOMOS ISCARSAH, 2005), heritage structures located in transitional or peripheral

zones—such as Thrace—remain underrepresented in scholarly discussions.

In response to this gap, the present study proposes a modern restoration framework for the Büyükkarıştıran Bridge, grounded in both historical inquiry and technical analysis. The investigation is structured around two main components:

- literature-based research that contextualizes the bridge within Ottoman infrastructure and conservation theory;
- an on-site architectural survey that documents its current condition. Together, these components form the basis for an evidence-based restoration proposal aligned with international conservation standards.

This research ultimately aims to address the following question: “How can the Büyükkarıştıran Bridge be conserved in a way that respects its historical context while ensuring long-term structural and perceptual sustainability?”

2. Research Aim and Methodology

This study undertakes a comprehensive evaluation of the Büyükkarıştıran Bridge as both a tangible cultural heritage asset and a structural artifact embedded within its geographical, historical, and architectural context. The primary objectives of the research are:

- to elucidate the historical significance of the bridge through systematic archival inquiry and critical literature analysis;
- to document and assess the current architectural and material condition of the structure through advanced surveying technologies;
- to identify patterns of deterioration, structural vulnerabilities, and past interventions that may have compromised the bridge's original fabric;
- to formulate a set of restoration and conservation strategies aligned with internationally recognized heritage charters; and
- to enhance the bridge's perceptual visibility and cultural relevance within its contemporary urban-industrial setting.

To fulfill these objectives, the study adopts a multidisciplinary methodological framework that integrates historical research, architectural survey, visual documentation, and diagnostic analysis. The archival investigation encompassed both national and international repositories, including the Turkish State Archives, the Edirne Regional Council for the Conservation of Cultural Heritage, the Bibliothèque Nationale de France, the Library of Congress (USA), the Atatürk Library of the Istanbul Metropolitan Municipality, the University of Toronto Library, and the

Istanbul Technical University Faculty of Architecture Library. In addition, Ottoman-era cartographic materials were consulted to contextualize the structure within its broader infrastructural network.

The fieldwork component was carried out between February 18 and 21, 2017, utilizing high-resolution digital measurement tools such as the Leica Total Station (theodolite) and Faro 3D Laser Scanner. These technologies facilitated the production of precise architectural documentation, including three-dimensional models and plan-elevation sections. Visual inspection and photographic documentation were employed to record surface damage, material loss, and incompatible repairs. The analytical findings informed the development of a restoration proposal structured in accordance with the principles of the Venice Charter (1964) and the Nara Document on Authenticity (1994), with particular emphasis on reversibility, material compatibility, and minimal intervention.

3. Discussion

To propose contemporary restoration plans effectively, it is imperative to analyze the bridge's current condition thoroughly. This discussion encompasses geographical, historical, and morphological examinations, drawing insights from both literature research and on-site survey findings.

3.1. Geographical Condition

The Büyükkarıştıran Bridge is situated in the Büyükkarıştıran town of the Lüleburgaz district, within the Kırklareli province, adjacent to the Yuvalı Creek. Administratively, the town is affiliated with the Lüleburgaz district, approximately 25 kilometers away. Access to Büyükkarıştıran town is facilitated via the TEM (European Highway) from the north, as well as the D-100 (Istanbul-Edirne Highway) (see Fig. 1).

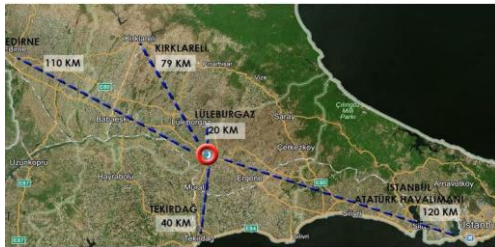


Figure 1. Highways and Location Map (Min. of Environment and Urbanization).



Figure 2. Aerial photo showing the location of the bridge within the district.

Within this settlement plan, the Büyükkarıştıran Bridge is located on the east-west axis. To the west and east of the Büyükkarıştıran Town, industrial

facilities are present. Historically, the bridge was actively utilized along a trajectory parallel to the D-100 highway until the 1970s; however, its traffic volume diminished following the construction of the D-100 highway. Notably, Yuvalı Creek experiences periodic overflow, particularly during winter months, inundating the vicinity, including the bridge. In 2012, the town center endured significant damage due to extensive flooding in the region, as documented by the Ministry of Environment and Urbanization in 2016. Consequently, berm walls were erected, and elevation differences were heightened, making the bridge appear smaller than its original dimensions. Moreover, alterations in the original elevation levels have led certain bridge sections to submerge below ground level. Restoration efforts to address these submerged arches appear to compromise the bridge's original architectural integrity, as evidenced by comparison with historical photographs (see Fig. 23, 24, 25).

3.2. Pre-Roman Era

Archaeological research indicates that the Thracian lands did not exhibit evidence of hosting historical settlements until the corresponding period from the late Chalcolithic Period to the Early Bronze Age (around late 4000 B.C.) (Bektaş, 2007). While Thracian traces of permanent settlements are discernible through the invasions of Thracian colonies, the Büyükkarıştıran region does not bear such traces. Thracian colonies, mentioned as allies of the Trojans in Homer's Iliad, are known

to have established settlements in various regions during the period spanning approximately 1000-800 B.C. According to Beksaç (2007), among these colonies, the most notable are Astaies and Odrys.

Yıldırım contends that the Astaies established settlements in the northern part of the region, specifically around the Yıldız Mountains. Byze (Vize) city emerges as a significant economic hub of the Astai civilization. Conversely, the Odrysians settled in the southern part of the region, spanning between the Tunca Valley and the seashore, designating Heraion Teichos city as their capital (Yıldırım, 2008).

The Büyükkarıştıran region, known as Drusipara in ancient maps, assumed significance as the road connecting the two major centers, Byzze and Heraion Teichos, traversed through Büyükkarıştıran (Drusipara) (see Fig.4). Alongside remnants of ancient buildings dating to this period, the area also features tumuli believed to belong to the princes of the Odrysians (Demir, 2016).



Figure 3. Büyükkarıştıran Tumulus (Heritage Records, Ministry of Culture).

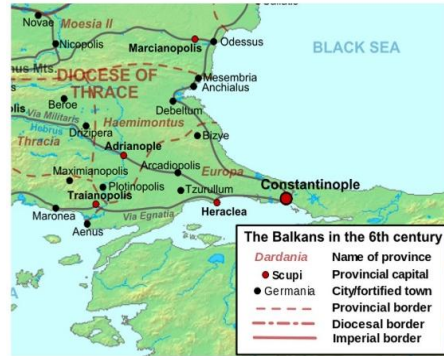


Figure 4. Regional map of the 6th Century (Singleton,1989).



Figure 5. Miniature of the Karışdıran War (Topkapi Palace Museum, Treasury 1597-8,44a).

The first Greek colonies emerged in the region around 800-700 B.C., leading to a decline in Thracian influence. By 514 B.C., the region fell under Persian domination. With the establishment of a feudal structure by the Thracians, the region came under Macedonian rule in 333 B.C., following the departure of the Persians. Thrace remained under Macedonian control following its occupation during Alexander the Great's eastern expedition, persisting until the Roman period (Beksaç, 2007).

3.3. Roman Empire Period

Following the Macedonian civilization, the Roman Empire controlled the region until the 6th century, despite periodic Thracian uprisings. According to Singleton (1989), the construction of the Via Militaris, dating back to the 1st century, played a pivotal role in enhancing socio-economic activities in the surrounding cities by establishing a direct connection to Rome. The Romans standardized travel time and distance along the Via Militaris, ensuring uniformity throughout the route. Rest centers were strategically positioned at 18 Roman mile intervals, serving as safe accommodation areas and horse change stations (Beksaç, 2007). In his book "Belgrade Istanbul Roman Military Road," Dr. Konstantin Yosif Ireçek asserts that "Narcum was reached from the transfer stop to Durusipara (or Drizipera), a nearby fourth night mansion. It was reached in a village on an old and often cited hill near today's Büyükkarıştıran, where the hunting lodges of the old sultans were located. During the time of Emperor Maximilian, St. Alexander, a Roman soldier who was tortured, died in Druzipara. Later, his body was buried in a magnificent church and was highly respected by all Thracian faithholders. (...) The name Druzipara perhaps only meant 'City of The Odris'. (...) 40 creeks and river crossings until Druzipara, 85 creeks and river crossings until Istanbul, all of which are equipped with beautiful bridges in the Roman era." (İreçek, 1990) The covering of the Via Militaris Road with asphalt presents challenges in identifying authentic traces in the Thracian segment of the road

today. However, Greek, Macedonian, and Serbian researchers have conducted academic studies to ascertain the structural layout and measurements of the road on a local scale.

3.4. Ottoman Empire Period

During the Ottoman period, Büyükkarıştıran retained its significance inherited from Roman times. It served as an essential accommodation center, leveraging the utilization of Roman roads throughout the Ottoman era. The Ottomans established the Via Militaris, one of the three primary routes used in European voyages, with Büyükkarıştıran as a pivotal point. Ottoman administrations consistently repaired and utilized existing roads until the mid-19th century, often augmenting them with additional features or reinforcements to maintain the integrity of the Roman route (Kılıç, 2014). Çorlu, encompassing Büyükkarıştıran and Lüleburgaz, was conquered in 1357 by Orhan Gazi with Suleyman Pasha (Uzunçarşılı, 1996). Following Sultan Bayezid I's covenant not to declare a crown prince by abstaining from choosing between Şehzade Selim and Şehzade Ahmet, the Janissaries and the populace exhibited divisions based on the cities they supported.

Literary sources indicate that the Karıştıran region hosted numerous significant battles during the Ottoman Period, particularly the battle known as the "Karışdıran War" that took place between the Sultan's sons in 1511 (see Figure 5) (Uzunçarşılı, 1996). However, it remains unclear whether this tragic

battle definitively bestowed the name Büyükkarıştıran upon the region.

Due to the active utilization of Edirne Palace in tandem with Istanbul following the conquest and ongoing expeditions to the Balkans facilitated by the remnants of the Via Militaris, the Roman-era accommodation function in Büyükkarıştıran persisted into the Ottoman period, accompanied by the construction of a hunting palace. Although the precise construction date of the hunting palace remains uncertain, the earliest archival source related to zoning activities dates back to 1540-1550 (Güven and Hergüner, 1999). In his renowned journals, Evliya Çelebi notes that Karıştıran is a well-established village originally named Karıştıran Hanı Village, boasting 100 houses, one accommodation building (Khan), and a mosque. He also provides insights into the soil composition, describing it as exceedingly sticky, to the extent that even the strongest animals, such as elephants, Adana buffalo, and Anatolian, cannot avoid becoming stuck (Kahraman and Dağlı, 2003). Evliya Çelebi's accounts, while primarily based on observations and oral legends, may not be considered definitive scientific evidence regarding the origin of the region's name. However, acknowledging the significance of oral traditions as integral components of cultural heritage, we can view his claim as valuable evidence pertaining to the historical heritage of the region. While not scientifically verifiable in the strictest sense, such oral accounts contribute to our understanding of the cultural and historical context surrounding

Büyükkarıştıran and its evolution over time.

Numerous claims exist regarding the original name of the region. Claude Ptolemy depicts Karıştıran town as Drusira on his map dated 1535 (see Figure 6), while Gerard Mercator's map from 1584 refers to the region as Durusipara (see Figure 7). Additionally, Thracian Veteris labels the town as Durusipara on his 1585 map, indicating military usage with a symbol near the town (see Figure 8). Furthermore, Illyricum Orientis' updated map also shows a significant mosque near the military range (BNF, n.d.). These historical maps provide valuable insights into the various names associated with the region throughout history.



Figure 6. Ptolomee's map dated 1535 (BNF, 1535, 1b52504494).

The name Karisdıran first appears on Gottfried Jacob Haupt's map dated 1737, which features the same range/fortress icon (see Fig. 9), similar to Hauptmans's map in 1787 (see Fig. 10). However, Johann Gottlieb refers to the town as Bolovana in his 1750 map (see Fig. 11).



Figure 7. Mercator' map dated 1584 (BNF, 1584, 1b59639433).

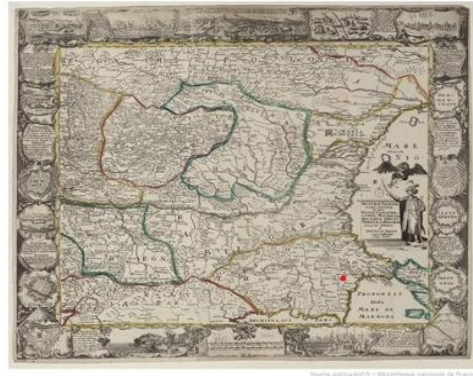


Figure 10. Haupt's map dated 1787 (BNF, 1737, 1b53093440).



Figure 8. Veteris' map dated 1585 (BNF, 1585, 1b59621494).



Figure 11. Gottlieb's map dated 1750 (BNF, 1750, 1b5309340).

Conversely, *Tabula Peutingeriana* names Büyükkarıştıran as Brysipara in a map from 1753, which also depicts traces of the *Via Militaris* (see Figure 12).



Figure 9. Orientis map dated 1590 (BNF, 1b5973175k).

These various maps provide additional perspectives on the historical names associated with Büyükkarıştıran throughout different periods.

In the Austria map dated 1832, Büyükkarıştıran is referred to as Karischtıran (see Fig. 13). Subsequently, it is finally named Karıştıran in the Ottoman railway map of 1895, marking the first instance of this name (see Fig. 14) (*Erkan-ı Harbiyye-i*, 1887). The name Karıştıran is also encountered in the Ottoman Military map dated 1901 (BOA, HRT 2174). These maps document the evolution of the name associated with Büyükkarıştıran over time.

Literary sources indicate that following the Second Balkan War, Balkan-Turkish refugees immigrated to Istanbul via Büyükkarıştıran, where they also temporarily accommodated in the town. This indicates that the old military accommodation center belonging to the region continued to be utilized into the early 20th century (Baldwin, 1913).



Figure 12. Peutingeriana's Map dated 1753 (BNF, 1753, 1b5962147).



Figure 13. Austria Map dated 1832 (BNF, 1832, 1b596342).



Figure 14. Ottoman Railways Map dated 1895 (State archives, HRT-2174).

3.5. The Turkish Republic Period

In 1937, a portion of the military exercises was conducted in Büyükkarıştıran and its surrounding areas as part of the Great Thrace Manuevers (Demir, 2016). Mustafa Kemal Atatürk, the esteemed leader of the Turkish Republic, utilized the Büyükkarıştıran primary school as a commanding center for military operations and visited Büyükkarıştıran on numerous occasions (Cumhuriyet Newspaper, 18.08.1937).

The European (London) motorway, planned and built between 1960 and 1970, was designed on a new route. Until this date, the road was actively used for various repairs, as in the Ottoman period.

By altering the route, the bridge has relinquished its primary function of transportation, which it has served for centuries. Consequently, it has diminished in significance and has been left in a state of disrepair.

3.6. Surrounding Historical Buildings

Under this heading, structures built in the vicinity of the bridge in different periods and which could not maintain their integrity are examined under certain sub-headings.

3.6.1. The Hunting Mansion

Hunting, a favored pastime among the Sultans and their contemporaries, including high-ranking soldiers and

bureaucrats, contributed to the allure of the Thrace region. Its proximity to abundant hunting grounds and proximity to both palaces rendered it particularly appealing. It is noted that short-term hunting trips often led to Çatalca and Büyükkarıştıran, while longer-term royal hunts typically extended to Edirne (Güven and Hergüner, 1999).

Despite the uncertainty surrounding its construction date, discussions persist regarding the existence of historical hunting lodges in Karıştıran. However, concrete evidence indicates the establishment of a genuine hunting palace by Sultan Avcı Mehmet in 1681. Archive records reveal that this palace remained in use until 1840 and underwent periodic repairs over time (Güven and Hergüner, 1999).

3.6.2. Rüstem Pasha Zoning

It is evident that Rustem Pasha commissioned the construction of a mosque, a caravanserai, a large inn, a guest house (tabhane), and a hammam building in Büyükkarıştıran due to the town's strategic location as a crossing point to the Edirne Palace and the Balkan-European lands (see Fig. 15). However, the caravanserai, innyard, and guesthouse have been periodically demolished for reasons unknown, leaving no trace of these buildings except in literary sources (Küçükkaya, 1990). Additionally, the mosque fell into ruin by 1938-40, and a new mosque was constructed by reusing some of the main walls of the original mosque.

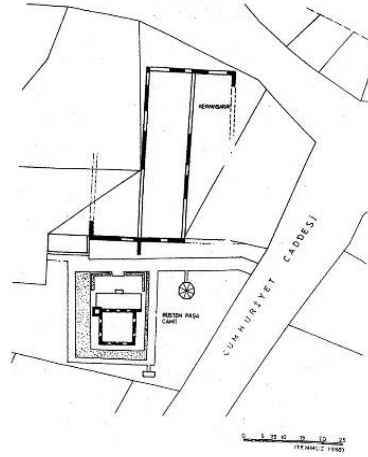


Figure 15. Plans of Rüstem Pasha Guesthouse (Kervansaray) with its mosque (Küçükkaya, 1990).



Figure 16. Water gauges in Büyükkarıştıran (Ayberkin, 2016).

Furthermore, relics belonging to three water gauges have been discovered, indicating the water transmission to the hammam building during surveys (see Fig. 16).

Archival records indicate that renovation efforts were periodically undertaken to reconstruct the Rustem Pacha caravanserai and waterways (Demir, 2016). However, it is asserted that the Horhor Fountain, located in the town, is a rebuilt version of the original

Rustem Pacha fountain. Survey studies reveal that the fountain was constructed by the Ministry in 1938, as indicated by its epigraph.

3.6.3. The Water Gauges

Water gauges are structures designed to distribute the water flowing towards the city with the natural slope of the waterways, adjusting the pressure and flow rate in a controlled manner. Typically constructed using rubble stone and lime mortar, they form narrowing towers. Water gauges, which are an essential part of the historical Byzantine waterway, carry water to the Capital, İstanbul, and they are located on the southeast side of the town. The stone masonry of these towers has significantly deteriorated over time. Dating back to the 3rd to 4th centuries, these structures were officially recognized as heritage sites by the Heritage Board of Edirne in 1991 (Edirne Board of Cultural Heritage, 2017).

4. Architectural Characteristics of the Bridge

The Büyükkarıştıran Bridge is constructed with seven arches and boasts a total length of 45.32 meters and a total width of 5.40 meters. The bridge slabs are curved with a 5% slope on both sides, and the height of the largest arch varies from 3 meters to 4.50 meters. The arches are built 7 cm inwards from the spandrel walls. However, it is noted that the parapets of the bridge have been improperly renovated with concrete, resulting in a height of 0.45 meters (see Fig. 17).



Figure 17. Büyükkarıştıran Bridge Northern side view (Ayberkin, 2017).

In historical photographs of the bridge, the floor slab/roadway was depicted as being paved with marble, whereas today, it is covered with asphalt (see Fig. 22-24). Stone gutters are present on both the downstream and upstream façades; however, their authenticity cannot be definitively determined. Additionally, recently added wing walls have been installed at the east and west ends of the bridge. Deformations are evident on the roadway and asphalt surface, with structural cracks observed inside the arches and vaults (see Fig. 18-19). Despite exhibiting characteristic features of classical Ottoman architecture, precise data regarding the year of construction remains elusive. However, owing to these distinctive features, there exists a possibility that the bridge underwent comprehensive repairs or reconstruction between the 15th and 16th centuries.

4.1. The Arches/Barrels

The bridge span comprises seven arches/barrels constructed with ashlar and rubble backing stonework, bonded with lime mortar joints. These arches/barrels are constructed in a semicircular form. However, some concrete joints are present because of improper repair work.

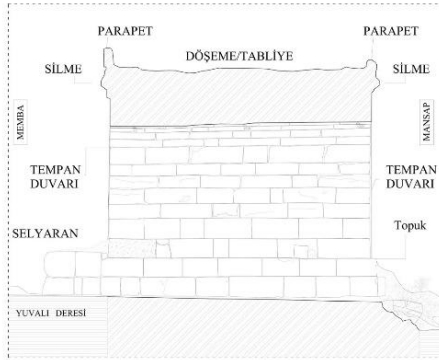


Figure 18. The architectural details of Büyükkarıştıran Bridge (Ayberkin, 2018).

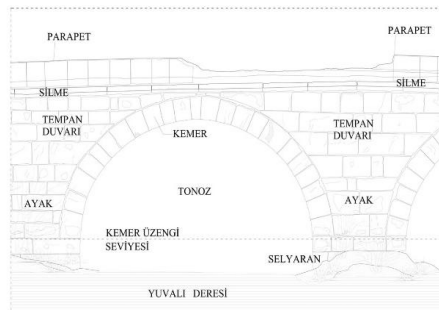


Figure 19. The arch details of Büyükkarıştıran Bridge (Ayberkin, 2018).

Within the arch vaults/barrels, carbon deposits, cement repairs, and signs of vandalism are observed. The arches/barrels are also numbered on the West to East axis (see Fig. 17, 20).

4.1.1. Arch/Barrel – 1

Arch/Barrel-1, located at the western end of the bridge, is the first arch in the sequence. The span of the arch measures 5.24 meters, with an arch radius ranging from 1.33 to 1.71 meters. The dimensions of the voussoir stones vary between 0.50 meters and 0.30 meters. The rise between the springing line and the keystone is 2.4

meters. The floor slab between the piers is covered with cobblestone.

4.1.2. Arch/Barrel – 2

Arch/Barrel-2, situated as the second arch at the western end of the bridge, has an arch span measuring 4.87 meters and an arch radius of 2.67 meters. It comprises nineteen voussoir stones, with dimensions ranging from 0.35 meters to 0.70 meters. The rise between the springing line and the keystone is 3.05 meters. Similar to Arch/Barrel-1, the floor slab between the piers is covered with cobblestone.

4.1.3. Arch/Barrel – 3 (Main Arch – 1)

Arch/Barrel-3, positioned as the third arch at the western end of the bridge, features an arch span measuring 5.86 meters and an arch radius ranging from 2.83 to 3.57 meters. The rise between the springing line and the keystone is 3.05 meters. Unfortunately, the floor slab covering could not be detected due to the water level of Yuvalı Creek

4.1.4. Arch/Barrel – 4 (Main Arch – 2)

Arch/Barrel-4, positioned as the fourth arch at the western end of the bridge, has an arch span measuring 5.92 meters and an arch radius ranging from 2.57 to 3.48 meters. The rise between the springing line and the keystone is 3.48 meters. Unfortunately, similar to Arch/Barrel-3, the floor slab covering could not be detected due to the water level of Yuvalı Creek.

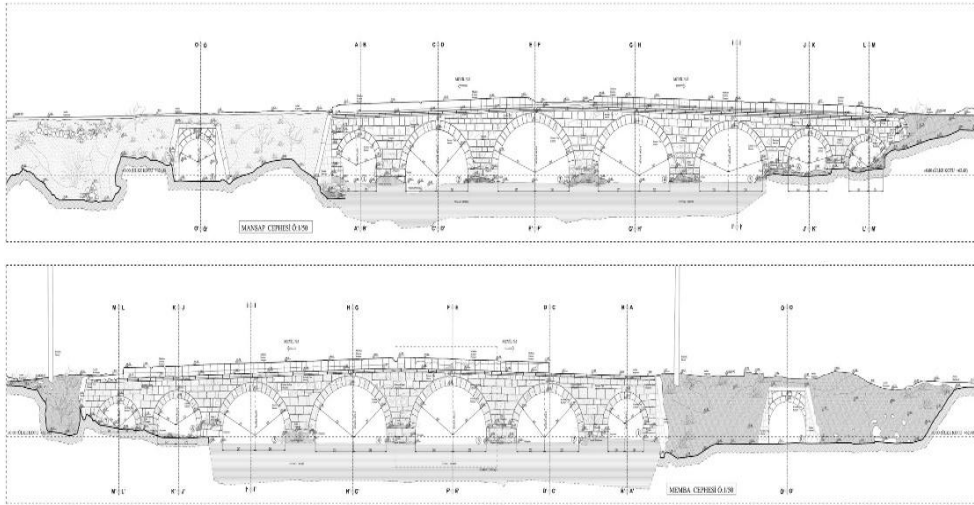


Figure 20. Façade drawings of Büyükkarşıtıran Bridge (Ayberkin, 2018).

4.1.5. Arch/Barrel – 5

Arch/Barrel-5, positioned as the third arch at the eastern end of the bridge, features an arch span measuring 5 meters and an arch radius ranging from 2.4 to 2.82 meters. The rise between the springing line and the keystone is 3.16 meters. Unfortunately, similar to the previous arches, the floor slab covering the piers could not be detected due to the water level of Yuvalı Creek.

4.1.6. Arch/Barrel – 6

Arch/Barrel-6, situated as the second arch at the eastern end of the bridge, has an arch span measuring 3.23 meters and an arch radius of 1.68 meters. The rise between the springing line and the keystone is 2.3 meters. Similar to the western end arches, the floor slab between the piers is covered with cobblestone. Additionally, soil accumulation has been detected on the floor slab.

4.1.7. Arch/Barrel – 7

Arch/Barrel-7, positioned as the first arch at the eastern end of the bridge, features an arch span measuring 2.88 meters and an arch radius of 1.59 meters. The rise between the springing line and the keystone is 1.69 meters. Similar to the other arches, the floor slab between the piers is covered with cobblestone. Furthermore, soil accumulation and vegetation have been detected on the floor slab of this arch.

4.1.8. Arch/Barrel – 8 (Flood Arch)

Arch/Barrel-8, situated as the only flood arch at the western end of the bridge, has an arch span measuring 3.02 meters. The rise between the springing line and the keystone is 2.11 meters. Similar to the other arches, the floor slab between the piers is covered with cobblestone. However, soil accumulation and vegetation have been detected on the floor slab of this arch. Additionally, town sewage has erroneously been

connected through this barrel, indicating potential structural issues.

4.2. Piers

The piers serve as the primary support structures of the bridge, working in conjunction with the arches/barrels and vaults to carry the roadway load. Cutwaters have been added to the upstream facade of the piers, enhancing their resistance to water pressure. However, due to the alluvium formed by Yuvalı Creek, some of the piers remain partially underground.

4.3. Cutwater / Starling

Cutwaters, also known as starlings, take the form of triangular prisms adjacent to the piers on the upstream facade of the bridge. On the downstream facade, there are genuine triangular prism easewaters and periodically added square-shaped easewaters adjacent to the piers. These cutwaters are subjected to soil deposits and flood debris, leading to some of them losing their integrity due to water pressure. Constructed with ashlar with rubble backing stonework and lime mortar joints, the cutwaters vary in length from 2.3 meters to 2.58 meters and in width from 1.34 meters to 2 meters. Among them, two cutwaters have fully retained their integrity.

4.4 Parapets

The parapets of the bridge are constructed from reinforced concrete material, which has been recently added. Unfortunately, the exact date of this addition is unknown. The parapets have

an average width of 0.24 meters and a height of 0.42 meters.

4.5. King Post Stones

The original king post stones are no longer in place. However, genuine details of the post stones were identified from the old photographs.

4.6. Roadway / Deck

The roadway/deck, with an area of 311 square meters, features a slope of 5% on the east-west axis. While it is currently covered with asphalt, historical evidence suggests that the genuine overlay was marble, as reconstituted based on a photograph dated 1912.

At the intersections of the parapets and roadway, observed on both the upstream and downstream sides, soil deposits and plant formations are present. Additionally, load-related deformation has been noted on the roadway, likely resulting from heavy tonnage vehicles accessing surrounding facilities. Furthermore, frost cracks, attributed to atmospheric effects, are predominantly observed on the spandrel walls due to harsh winter weather conditions.

4.7. Façades

4.7.1. Upstream Façade (North Facade)

The spandrel wall comprises seven semicircular arches constructed with ashlar and rubble backing stonework, joined with lime mortar. The upstream facade exhibits more damage compared to the south facade, likely due to weather

conditions. Accumulation of carbon crust, cement interventions, frost cracks, surface losses, vandalism, and biological formations are notably present. Structural cracks visible on the facade raise concerns regarding the structural integrity of the wall.

The voussoirs or ring stones are positioned within seven centimeters from the surface of the spandrel wall or upstream facade. Additionally, a stone ornament is situated on the belt course, which is believed to be authentic. Cement and reinforced concrete interventions are observed in the joint between the wing wall and abutment/spandrel walls.

4.7.2. Downstream Facade (South Facade)

The spandrel wall is composed of seven semicircular arches constructed with ashlar and rubble backing stonework, held together with lime mortar joints. The downstream facade exhibits less damage compared to the north facade.

However, a high density of carbon crust accumulation, cement interventions, frost cracks, surface losses, vandalism, and biological formations are observed on the north facade. Structural cracks visible on the facade raise concerns regarding the structural strength of the wall.

The voussoirs or ring stones are positioned within six centimeters from the surface of the spandrel wall or upstream facade. Additionally, a stone ornament is situated on the belt course, which is believed to be genuine. Cement and reinforced concrete interventions are observed in the joint between the wing wall and abutment/spandrel walls.

5. Restoration

The restoration work was categorized into three main sections: reconstitution, intervention methods, and restoration suggestions, each accompanied by detailed drawings to provide comprehensive support.



Figure 21. General front view of the Büyükkarıştıran Bridge (Ayberkin, 2017)

5.1. Damage Analysis

While precise details regarding renovations are lacking, variations in stone dimensions, textures, and

mortar/joint materials suggest that the bridge underwent repairs or renovations at various points in time. Utilizing historic photographs enables the

detection of interventions and facilitates comparison between past and present conditions. Damage analysis projects have identified atmospheric effects, algae and carbon formations, surface cavities, improper interventions, and structural cracks across upstream and downstream façades and other sections of the bridge.

Both upstream and downstream façades, voissors, barrels/arches, and spandrel walls exhibit false interventions, soil deposits, and vandalism. Prefabricated concrete parapets have been installed in place of genuine marble/ashlar stone parapets. The roadway/deck shows significant deformation caused by heavy-tonnage vehicles crossing for access to surrounding industrial facilities. Plant and biological formations are predominantly found on the façades.

While no significant structural damage was observed in the building, minor structural cracks and deformations have been detected.

5.2. Reconstitution

There is no information regarding the original status of the building, and the date of construction could not be determined. Limited information and documents were obtained through research. Although Büyükkarıştıran Bridge is attributed to Sinan the Architect in heritage records, there are no exact records to support this claim.

In the 16th century, no records have been found in the Tezkiret-ul Bünyan and Tuhfet'ül Mimarın, written by Sai Çelebi, who was a friend of Sinan the Architect (Meriç, 1965).

It is known that Via Militaris, the Roman military road, passed through Büyükkarışan. This road facilitated transportation, communication, and military activity between Istanbul (Byzantion) and Belgrade (Singindunum) (İreçek, 1990).

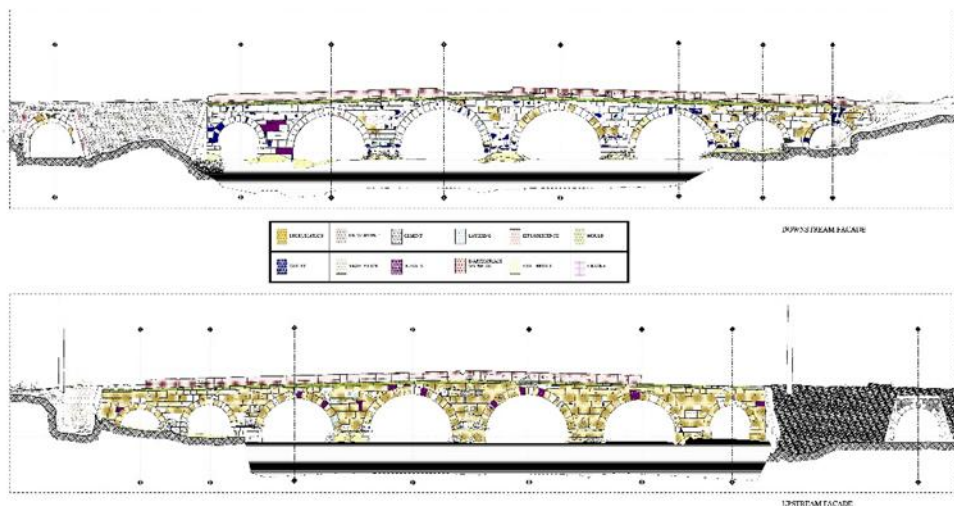


Figure 22. Damage Analysis of the Büyükkarıştıran Bridge (Ayberkin, 2018)

Due to Büyükkarışan's location on Via Militaris, the Roman military route, and the presence of a horse exchange area between the two centers Çorlu (Syrallo) and Lüleburgaz (Bergvle), coupled with the existence of the Yuvalı (Arzus) Creek, it is speculated that the bridge may have been constructed to fulfill the needs of previous civilizations (Güven and Hergüner, 1999).

It is estimated that during the pre-conquest period, Ottoman military troops utilized the same route from Edirne to Istanbul, and later, during the campaigns of Mehmet II, Murat II, Beyazıt II, and Kanuni Sultan Süleyman in the Rumeli region (Kılıç, 2014).

From John Covel's book "Ottoman Diary of a Priest," (2011) written between 1670-1679, we learn that the name of the town comes from the mixing or kneading of the soil, which consists of a spongy clay land. In his diary, he also describes the bridge, mentioning that Karistiran town has a bridge over the Yuvalı River, which is an eight-barrel bridge and a hundred steps long. He notes that the Yuvalı River constantly floods the bridge during winter. He also mentions a fountain and an aqueduct built by Rustem Pasha, which is very close to the bridge.

According to the royal almanac dated 1567, which was determined in archival works, there was an order for repairing bridges on the road or building bridges in places where there were none before the sultan's return from Edirne to Istanbul. Based on this order, if repairs were made to the bridge in accordance

with this directive, it could be a reason for attributing the construction to Sinan the Architect, who was the head of the royal architects at that time. (BOA, Book No. 7 Mühimme H:975).

The Büyükkarıştıran Bridge maintained its role as a primary transportation axis from Istanbul to the Balkans for over 2000 years until the construction of the D-100 highway between 1960 and 1970. It is conceivable that civilizations preceding the Ottomans, which conducted various zoning activities along this axis, may have constructed the bridge (Demir, 2016).

The Büyükkarıştıran Bridge may have incurred damage from battles in the region and the 1509 Great Istanbul earthquake, which affected areas as far as Edirne and Gallipoli. It is plausible that the bridge's construction predates the era of Sinan, and it is estimated that Sinan may have overseen its repair due to the damage incurred (Ambrasey and Finkel, 2006).

The first visual documentation of the structure dates back to a photograph from 1909, captured during the Balkan Wars.



Figure 23. Büyükkarıştıran in 1909 (Demir,2016).



Figure 24. Büyükkarıştıran in 1913 (Baldwin,1913).



Figure 25. Büyükkarıştıran in 1913 (Baldwin,1913).

Comparing the old photos with the current situation,

- Some parts of the bridge in the west direction are under the ground today,
- Cutwaters were complete,
- Parapets have been changed,
- The original marble floor coverings of the bridge were replaced,
- The elevation of the bridge's surroundings has been altered due to construction activities, leading to changes in the water level and subsequent soil accumulation around the bridge.
- Arches/Barrels are not deformed yet,
- The north facade (Upstream Facade) has different stones from today and thus undergoes a repair between 1912 and today,
- It was found that the first arch in the west direction of the Surveying Project, which is called Arch 1, did not have the arch spring profile in 1912, but it was added later.

5.3. Restoration Proposal

The restoration project of the Bridge has been meticulously planned with careful consideration given to international conservation statutes and principles. Throughout the process of making conservation decisions and implementing the restoration project, the Athens Charter (1931) and the Venice Charter (1964) have served as guiding frameworks, providing established principles for the protection of cultural heritage. These principles have been further informed by the directives outlined in the Amsterdam Declaration (1975). Based on the damage analysis projects conducted in accordance with the aforementioned protection principles, it has been determined that there is no imminent structural damage to the bridge warranting immediate intervention. Nevertheless, it is imperative to address several maintenance tasks, including removing material contents within the structure, eliminating soil deposits, cleansing pollutants, and mitigating plant-algae formations that have developed on the facades and arch vaults.

As stated in the restoration projects, the following revisions were targeted:

- Removal of joints with cement mortar, reconstruction of joints with lime mortar in accordance with the genuine mortar mixture,
- Cement repairs, removal of stone imitations, and repair of the original stone and missing stone blocks in the facades and vaults,
- Repair of surface losses and surface
- Removal of prefabricated reinforced concrete parapets, asphalt pavement, and reinforced concrete gutters from the structure and replacement with genuine materials, structure.
- Filling the structural cracks with suitable materials and closing the gaps,
- Integration of destroyed structural elements (flood barriers, heel, etc.),
- Surface cleaning of facades and vaults/barrels by micro sandblasting,
- Cleaning the plant formations in the façade and vaults and eliminating the damage they cause,
- Cleaning the closed barrels and cleaning soil deposits from the bridge,
- Removal of soil deposits around barrels and flood barriers,
- Regular monitoring is recommended by placing crack monitors in the The Büyükkarıştıran Bridge (2018)

In addition to the interventions above, a critical issue regarding the protection of the Büyükkarışan Bridge is its lack of visibility or detectability.

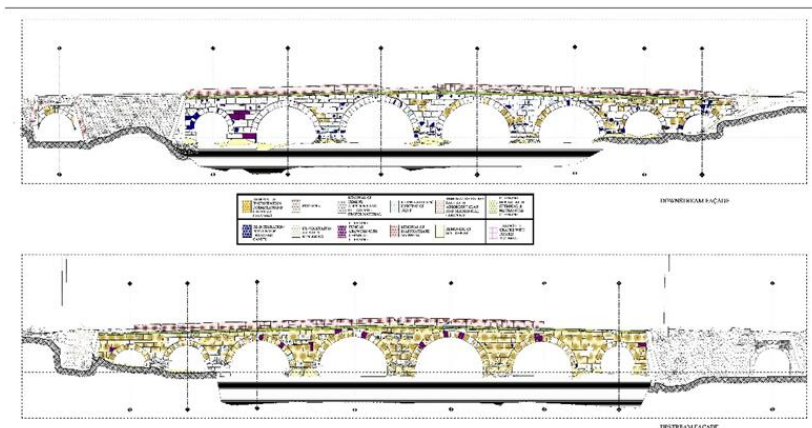


Figure 26. Restoration Interventions of cavities with the appropriate mixture of stone material.

Restricting vehicular access to the bridge, thereby allowing only pedestrian

usage, will serve two crucial purposes. Firstly, it will alleviate the bridge's

structural load, potentially extending its longevity and reducing the risk of wear and tear. Secondly, this measure will enhance the bridge's visibility and perception, as it will remain accessible exclusively to pedestrians, particularly those visiting the adjacent industrial facility.

6. Conclusions

The historical evolution of the bridge can be categorized into four distinct periods: the prehistoric era, the Roman Empire era, the pre-roman era, and the Republic era. Research into the pre-roman era commenced around 1000-800 BC, revealing evidence of Thracian settlements in the Ergene Basin. The significance of the region grew as it served as a crucial thoroughfare connecting trade centers, particularly evidenced by Drusipara's role along this route. During the Roman Empire, investigations indicated that Drusipara emerged as a prominent stop along the Via Militaris, a strategic road linking Istanbul and Belgrade.

Research findings indicate that during the Ottoman Empire period, the Büyükkarışan region continued to serve as a pivotal stop along the Via Militaris route. Additionally, efforts were made to enhance the area's significance, including constructing a hunting palace to accommodate travelers and dignitaries. Furthermore, historical documentation from both the State Archives and international repositories, as well as various dated maps, reveal that different names have referred to Büyükkarışan over time.

During the Great Thrace Maneuvers, a segment of the operation was conducted in and around Büyükkarıştıran. Newspaper records attest that the revered leader Gazi Mustafa Kemal Atatürk utilized the primary school in Büyükkarıştıran as an operational center in 1937. The transformation of the Via Militaris Road during the early Republic period saw its integration into the modern D-100 highway, which was rerouted through a new pathway. Consequently, this change resulted in the loss of the bridge's former role as a distinctive passageway. Historical landmarks were surveyed and categorized in the surrounding area under three primary headings: the hunting palace, the Rustem Pasha zoning, and the water gauges.

The survey project aims to comprehensively measure the Büyükkarıştıran bridge and thoroughly document all instances of damage and deterioration. Notably, no prior technical studies have been conducted on the bridge. Despite its obscured origins, the Büyükkarıştıran bridge has provided vital service to its environs for centuries, representing an exemplar of stone bridge construction tailored to the region's needs.

The architectural style of the Büyükkarıştıran Bridge exhibits features typical of Ottoman architecture from the classical period of the 16th century. While heritage records have previously attributed its construction to Sinan the Architect, a notable architect of the Ottoman Empire, there are no mentions

of the Büyükkarıştıran Bridge in Tezkiret'ul Bunyan and Tuhfet'ul Mimarın, Sinan's biographical and architectural treatises, respectively. However, it is believed that seismic activities in the region, coupled with the flooding of Yuvalı Creek, necessitated repairs to the bridge during the 16th century, possibly undertaken by Sinan the Architect.

Consequently, in adherence to the principles of international conservation, the Büyükkarıştıran Bridge holds unquestionable monumental value. Restoration proposals have been formulated to safeguard this heritage for posterity, ensuring its protection and transmission to future generations. The research question— How can the Büyükkarıştıran Bridge be conserved in a way that respects its historical context while ensuring long-term structural and perceptual sustainability —has been systematically addressed through a multi-layered conservation approach. This approach prioritizes minimal intervention, reversibility, and material compatibility, informed by internationally accepted charters such as the Venice Charter (1964), the Burra Charter (2013), and the Nara Document on Authenticity (1994).

The damage assessment revealed that the structure has been compromised by hydrological erosion, inappropriate materials, biological invasion, and vehicular overuse. The proposed restoration responds with evidence-based methods that respect the authenticity while enhancing

accessibility and public interpretation. In doing so, the study illustrates how thoughtful conservation can reactivate neglected infrastructure as valued cultural heritage within regional memory and identity.

Declaration of Ethical Standards

The authors declare that they comply with all ethical standards.

Credit Authorship Contribution Statement

Author 1: Resources, Research, Experimentation, Writing – original draft Visualization, Writing – original draft
 Author 2: Resources, Research, Experimentation, Formal analysis, Validation, Methodology, Visualization, Writing – original draft,

Declaration of Competing Interest

The authors have no conflicts of interest to declare regarding the content of this article.

Data Availability

All data generated or analyzed during this study are included in this published article.

Acknowledgments

This article is derived from the master's thesis titled “Büyükkarıştıran Köprüsü Restorasyon Önerisi” (2018), written by Burcu Funda Ayberkin under the supervision of Assist. Prof. Dr. Tuğba Erdil Dinçel at Haliç University, Institute of Graduate Studies in Sciences, Department of Architecture.

7. References

- Ambrasey, N. N., & Finkel, C. F. (2006). *Türkiye’de ve Komşu Bölgelerde Sismik Etkinlikler; Bir tarihsel inceleme (1500-1800)* (pp. 30-36). Tübitak Yayınları.
- Arslan, A. (2013). *Dünden Bugüne Büyükkarıştıran*. T.C Büyükkarıştıran Belediyesi.
- Ayberkin, B. F. (2017). *Photo Archive*.

- Ayberkin, B. F. (2018). *Büyükkarıştıran Köprüsü Restorasyon Önerisi*. Unpublished Master's thesis, Haliç University, Türkiye.
- Baldwin, H. F. (1913). *A War Photographer in Thrace*. T. Fisher Unwin.
- Başbakanlık Osmanlı Arşivi (BOA). (1862). *İrade Meclis-i Vala*. 463/208899-1.
- Başbakanlık Osmanlı Arşivi (BOA). Book No. 7 *Mühimme*, H:975.
- Başbakanlık Osmanlı Arşivi (BOA). HRT 2174. *Rumeli-i Şahane Demiryolu Kumpanyası Haritası*. HRT.2174.
- Bektaş, E. (2007). Doğu Trakya'da Traklar. *Aktüel Arkeoloji*, 3, 25-41.
- Bibliothèque Nationale de France (BNF). (1535). *Claude Ptolemee Map*. 1b52504494
- Bibliothèque Nationale de France (BNF). (1584). *Gerard Mercator*. 1b59639433
- Bibliothèque Nationale de France (BNF). (1585). *Thraciae Veteris*. 1b59621468
- Bibliothèque Nationale de France (BNF). (1737). *Gottfried Jacob Haupt Map*. 1b53093440
- Bibliothèque Nationale de France (BNF). (1750). *Johann Gottlieb Map*. 1b530934b
- Bibliothèque Nationale de France (BNF). (1753). *Tabula Peutingeriana Map*. 1b52504494
- Bibliothèque Nationale de France (BNF). (1832). *Austria Map*. -1b5963942
- Bibliothèque Nationale de France. (BNF). (n.d.). *Illyricum Orientis*. 1b5973175k
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (Ministry of Environment and Urbanization). (2016). *Kırklareli 1/25.000 Çevre Planı Plan Raporu*. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.
- Covel, J. (2011). *Bir Papazın Osmanlı Günlüğü: Saray Merasimler Gündelik Hayat*. Dergah Yayınları.
- Cumhuriyet Newspaper. (1937). 1.
- Demir, F. (2016). *Drusipara'dan Büyükkarıştıran'a*. Büyükkarıştıran Belediyesi.
- Edirne Board of Cultural Heritage (2016). Archive No: 39-05-663-03.
- Erkan-ı Harbiyye-i, Erkan-ı Harbiyye-i Umumiye-i Şahane. (1887). *Harvard University Online Library*
- Feilden, B. M. (2003). *Conservation of historic buildings* (3rd ed.). Architectural Press.
- Güven, Ö., & Hergüner, G. (1999). Türk Kültüründe Aycılığın Temel Dayanakları. *Pamukkale Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 5(5), 32-49.
- ICOMOS. (1964). *International charter for the conservation and restoration of monuments and sites* (The Venice Charter).
- ICOMOS. (1994). *The Nara document on authenticity*.
- ICOMOS. (2003). *Recommendations for the analysis, conservation and structural restoration of architectural heritage*.
- ICOMOS. (2008). *The ICOMOS charter for the interpretation and presentation of cultural heritage sites* (Ename Charter).
- İrecek, K. Y. (1990). *Belgrad İstanbul Roma Askeri Yolu*. T.C Kültür Bakanlığı.
- ISCARSAH. (2005). *Principles for the analysis, conservation and structural restoration of architectural heritage*.
- Kahraman, S. A., & Dağlı, Y. (2003). *Evliya Çelebi Seyahatnamesi*. Yapı Kredi Yayınları.
- Kılıç, A. (2014). *Bir Osmanlı Akın Beyi Gazi Evrenos Bey*. İthaki Yayınları.
- Küçükaya, G. (1990). Mimar Sinan Dönemi İstanbul-Belgrad Arası Menzil Yapıları Hakkında Bir Deneme. *Vakıflar Dergisi*, 21, 183-254.
- Meriç, R. M. (1965). *Mimar Sinan Hayatı Eseri*. Türk Tarih Kurumu.
- Singleton, F. (1989). *Short History of Yugoslav Peoples*. Cambridge University Press.
- The Burra Charter. (2013). *The Australia ICOMOS Charter for Places of Cultural Significance*. Topkapı Palace Museum, Treasury 1597-8, 44a
- Uzunçarşılı, İ. H. (1996). Büyük Osmanlı Tarihi. *Türk Tarih Kurumu Yayınları* 241-242.
- Yıldırım, Ş. (2008). *Doğu Trakya'da Mezar Tepelerinin Ortaya Çıkışı ve Gelişimi*. Unpublished Doctoral Thesis, Ankara University, Türkiye.

Research Article

Evaluation of the Location and Accessibility of Parking Lots using GIS-Based Analyses

¹Mehmet Can GÜVEN, ^{*2}Oruc ALTINTASI, ³Ziya CAKICI

¹İzmir Kâtip Çelebi University, Faculty of Architecture and Engineering, Department of Civil Engineering, İzmir, Türkiye, mhmt_cn_gvn@outlook.com, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-6631-8068>

²İzmir Kâtip Çelebi University, Faculty of Architecture and Engineering, Department of Civil Engineering, İzmir, Türkiye, oruc.altintasi@ikcu.edu.tr, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-4217-1890>

³İzmir Demokrasi University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, İzmir, Türkiye, ziya.cakici@idu.edu.tr, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-7003-815X>

Received: 03.03.2025;

Accepted: 20.06.2025

Abstract

This study investigates the spatial distribution and accessibility of parking facilities in İzmir, Türkiye, with a focus on their integration with public transportation systems. The analysis examines three types of parking facilities: on-street parking, off-street outdoor parking, and off-street indoor parking (parking garages). Using GIS-based methods, service areas were delineated for each parking type based on 400m and 800m walking thresholds, evaluating their proximity to public transportation stations, including rail transit stations, transfer hubs, and ferry ports. The results indicate that on-street parking is concentrated in high-density commercial areas, while off-street indoor parking is primarily located near major urban attractions. However, access to public transportation stations is limited, especially for off-street indoor parking facilities. In contrast, off-street outdoor parking facilities, although high in capacity, face challenges with public transport accessibility, particularly in the southern parts of the city. Strategic parking placement in areas such as Karşıyaka, close to rail stations and ferry terminals, illustrates a more effective multimodal transport integration. The study emphasizes the need for improved parking management and a more balanced distribution of parking infrastructure across the city to enhance accessibility to public transportation and promote sustainable urban mobility.

Keywords: Parking Lot, GIS, Service Area, Network Analysis, Public Transportation, Accessibility

^{*2}Corresponding author

To cite this article

Güven, M.C., Altıntasi, O., & Cakici, Z. (2025). Evaluation of the Location and Accessibility of Parking Lots using GIS-Based Analyses. *Journal of Innovations in Civil Engineering and Technology (JICIVILTECH)*, 7(1), 117-130. <https://doi.org/10.60093/jiciviltech.1650112>

Kent İçi Otopark Alanlarının CBS Tabanlı Analizlerle Konumu ve Erişilebilirliğinin Değerlendirilmesi

Öz

Bu çalışma, İzmir, Türkiye'deki otoparkların mekânsal dağılımını ve erişilebilirliğini, özellikle de toplu taşıma sistemleriyle entegrasyonlarını incelemektedir. Analiz, üç tür otoparkı ele almaktadır: yol üzeri otoparklar, açık alan otoparkları ve kapalı alan otoparkları. GIS tabanlı yöntemler kullanarak, her otopark tipi için 400 m ve 800 m yürüme mesafeleriyle hizmet alanları belirlenmiş, bunların demir yolu istasyonları, transfer noktaları ve feribot terminalleri gibi toplu taşıma istasyonlarına yakınlıkları değerlendirilmiştir. Sonuçlar, yol üzeri otoparkların yoğun ticaret alanlarında yoğunlaştığını, kapalı alan otoparklarının ise genellikle büyük kentsel cazibe noktalarına yakın olduğunu göstermektedir. Ancak, özellikle kapalı alan otoparklarının toplu taşıma istasyonlarına erişimi sınırlıdır. Diğer taraftan, açık alan otoparkları, yüksek kapasiteye sahip olmalarına rağmen, özellikle şehrin güney kesimlerinde toplu taşıma duraklarına erişimi sınırlıdır. Karşıyaka ilçesinde, demir yolu istasyonlarına ve feribot istasyonlarına yakın stratejik otopark yerleşimi, daha etkili bir çoklu taşımacılık entegrasyonunu göstermektedir. Çalışma, daha iyi bir otopark yönetimi ve şehrin genelinde daha dengeli bir otopark altyapısı dağılımının gerektiğine, bunun da toplu taşıma erişilebilirliğini artırarak sürdürülebilir kentsel mobilitayı teşvik edeceğine vurgu yapmaktadır.

Anahtar kelimeler: Otopark, CBS, Hizmet Alanı, Ağ Analizi, Toplu Taşıma, Erişilebilirlik

1. Introduction

The rapid pace of urbanization, coupled with the increasing number of motor vehicles, has significantly intensified the complexity of urban transportation systems, leading to numerous challenges such as traffic congestion, insufficient parking capacity, and unregulated parking practices (Parmar et al., 2020; Aydinoglu and Iqbal, 2021; Jonuzi et al., 2024). As an essential component of urban transportation infrastructure, parking facilities play a crucial role in ensuring the efficiency and sustainability of transportation networks. The inadequacy of available parking spaces forces drivers to spend excessive time searching for vacant spots, thereby exacerbating congestion and disrupting traffic flow (Alinia et al., 2015; Levy and Benenson, 2015). Additionally, the scarcity of parking facilities often compels motorists to travel extra distances in pursuit of parking, leading to increased fuel consumption, elevated carbon emissions, and environmental degradation (Ozturk and Kilic-Gul, 2020; Aydinoglu and Iqbal, 2021). This issue is particularly pronounced in central business districts and densely populated commercial areas, where prolonged searches for parking result in wasted time, higher individual costs, and adverse environmental impacts (Karimi et al., 2020). Consequently, as urban transportation efficiency declines, the implementation of sustainable mobility policies becomes increasingly challenging.

Strategic planning of parking infrastructure is essential for optimizing urban transportation systems and regulating traffic flow. Inadequately located or poorly designed parking facilities contribute to increased congestion, impede pedestrian movement, and diminish the overall functionality of urban transport networks (Farzanmanesh et al., 2010; Demir et al., 2021). Therefore, parking area planning must incorporate multiple factors, including land use patterns, population density, economic considerations, public transportation integration, and regional transportation demand (Mingardo et al., 2015). Moreover, ensuring the accessibility of parking facilities is a key priority, not only for private vehicle users but also for pedestrians who require safe and convenient access to parking areas (Jonuzi et al., 2024). A well-structured parking management strategy should aim to provide sufficient parking opportunities while simultaneously promoting integrated solutions aligned with sustainable transportation objectives (Sola et al., 2018).

Improving parking accessibility contributes to the overall efficiency of urban transport and facilitates a more structured traffic flow (Mcshane ve Meyer, 1982). Developing policies and strategies to enhance parking accessibility is therefore critical in fostering sustainable urban mobility (Ford et al., 2015; Tome et al., 2018). In this context, innovative approaches such as smart transportation systems, digital guidance technologies, and demand-based parking management have gained

prominence as effective tools for improving parking efficiency.

Various analytical and systematic methodologies are utilized to determine optimal parking locations. Geographic Information Systems (GIS)-based spatial analyses, multi-criteria decision-making (e.g., Analytical Hierarchy Process (AHP), TOPSIS, and Fuzzy AHP) techniques (Kirlangicoglu, 2016; Ozkan et al., 2020; Bilgilioglu, 2022; Elmacioglu et al., 2025), and spatial modeling approaches facilitate the strategic placement of parking infrastructure (Farzanmanesh et al., 2010; Karimi et al., 2020; Jonuzi et al., 2024). The application of such methodologies enables a more accessibility-oriented approach to parking planning, thereby improving the overall performance of transportation systems (Mitropoulos et al., 2023). Additionally, incorporating factors such as user preferences, regional traffic dynamics, and infrastructure capacity in parking location assessments is fundamental to achieving sustainable and efficient parking management (Dinda et al., 2019; Ozturk and Kilic-Gul, 2020).

Urban parking planning is not only crucial for private vehicle users but also for pedestrians, public transport passengers, and cyclists (Levy and Benenson, 2015; Aydinoglu and Iqbal, 2021; Demir et al., 2021). A well-planned parking infrastructure alleviates congestion, enhances transportation network efficiency, and supports overall urban mobility (Alinia et al., 2015; Kulinich and Lee, 2016). Moreover, providing accessible and cost-effective

parking solutions fosters the sustainable development of commercial, administrative, and social activities (Karimi et al., 2020; Jonuzi et al., 2024). Therefore, parking planning should not be perceived merely as an infrastructure solution but rather as a multidimensional strategy aimed at advancing urban sustainability and improving quality of life. Aslan and Aydar (2022) investigated the car park problems in Çanakkale, Türkiye, via GIS-based analysis to find suitable locations for street-parking. Gulhan and Ceylan (2010) stated that the lack of planned parking spaces (open, multi-story, underground) in the city causes irregular car parking problem for the city of Denizli. Özkaraca and İnceoğlu (2021) investigated the accessibility to Düzce University from different perspectives one of which is the car parks.

İzmir, the third most populous city in Turkey, is situated around a gulf, similar to cities such as Barcelona and San Francisco. The city offers a range of public transportation options, including metro, tram, bus, and ferry, providing a multimodal transport infrastructure comparable to many medium- and large-sized European cities (Cigu et al., 2018; Maciulyte-Sniukiene & Butkus, 2022). In recent years, the modal share of active mobility modes—particularly e-bikes, bike-sharing systems, and e-scooters—has steadily increased. These modes have been increasingly studied for their potential to enhance last-mile connectivity through integration with public transportation systems (Guzel et al., 2025; Pekdemir et al., 2024; Altıntasi

and Yalcinkaya, 2024). This evolving mobility trends have positioned İzmir as a favorable city for the development of innovative strategies aimed at decreasing car dependency and promoting sustainable urban mobility.

As for parking strategies, the Izmir Metropolitan Municipality has developed a Carpark Master Plan to i.) meet the city's parking needs, ii.) determine the potential parking locations in near future (EPI, 2019). However, even for the master plan, the integration of car parks with the public transportation facilities were not deeply investigated. Therefore, it is crucial to assess the accessibility of existing parking facilities and evaluate their integration with public transportation systems, which is the focus of this research.

This research examines the spatial distribution of parking facilities across key urban areas, emphasizing their accessibility to public transportation facilities, including rail transit stations, transfer hubs, and ferry ports. To this end, a GIS-based analysis was conducted to define the service area of the car parks, which later used to evaluate the accessibility to public transportation facilities. The findings concluded to a deeper understanding of the spatial distribution of parking infrastructure and its implications for sustainable urban mobility, offering insights into potential policy interventions to enhance accessibility.

2. Material and Method

2.1 Study Area and Distribution of Parking Lots

The study focuses on İzmir, Türkiye's third-largest city, which faces growing parking challenges due to rapid population growth and increasing vehicle ownership, particularly in central business districts. The research examines the spatial distribution of parking lots across key areas of the city, emphasizing their accessibility to public transportation stations (rail transit stations, transfer hubs and ferry ports), commercial zones, and high-density residential areas. The analysis considers different types of parking lots as listed as follow:

- **On-Street Parking:** Along roadways, typically in commercial or residential areas.
- **Off-Street Outdoor Parking:** Generally designed designated open areas, near commercial centers or public transportation hubs.
- **Off-Street Indoor Parking (Parking Garages):** Multi-level structures typically located near major public transport facilities.

It is important to note that this study considers only parking facilities managed by İZELMAN, a municipal company. The classification of parking lot types along with their corresponding features is presented in Table 1, while the spatial distribution of these parking facilities across the city is illustrated in Figure 1. The year of the parking data used for this analysis is 2025, which

ensures the most up-to-date and relevant information on street and sidewalk infrastructure.

Table 1. Parking lot types and corresponding features

Parking Lot type	Number	Capacity (min-max)
On-street	48	12-133
Off-street	11	41-353
Outdoor		
Off-street	23	62-1170
Indoor		

2.2 GIS-based Service Area Determination and Accessibility Evaluation

Before conducting the accessibility evaluation, a geodatabase was created to support the analysis, consisting of point data for parking lots and rail transit stations, and line data for the pedestrian network. ArcGIS Pro 2.5 software was used for this purpose. To evaluate the accessibility of parking facilities to public transportation facilities, service areas were delineated for each parking lot type based on walking travel times. Specifically, 5-minute and 10-minute walking thresholds, corresponding to distances of 400 meters and 800 meters, respectively, were employed, assuming an average walking speed of 4 km/h. This analysis was conducted separately for different parking facility types to assess their proximity to public transportation facilities. The service area analysis was carried out using ArcGIS Pro 2.5 software, specifically utilizing the Network Analyst extension. For this analysis, a pedestrian-based network

dataset was created by combining the most recent street and sidewalk data from OpenStreetMap and the İzmir Metropolitan Municipality's Department of Transportation. The network was limited to pedestrian-accessible paths only, excluding motor vehicle routes, to ensure a more accurate representation of walking accessibility. The "Service Area" tool within the ArcGIS Network Analyst extension was used to generate 400 m (approximately 5-minute) and 800 m (approximately 10-minute) walking buffers from the centroid of each parking lot location. These areas were used to evaluate whether the facilities fell within effective walking proximity to major public transportation facilities, such as rail transit stations, ferry terminals, and intermodal transfer hubs. By adopting this approach, a comprehensive evaluation of the spatial relationship between parking infrastructure and transit accessibility can be evaluated, identifying potential gaps and opportunities for improvement in alignment with sustainable mobility objectives.

3. Results and Discussion

The service area for 400 m and 800 m of each on-street parking location is provided in Figure 2. It should be concluded that on-street parking facilities are predominantly located in high-density central business districts, such as Konak and Alsancak, where demand for parking is intense due to the concentration of commercial and social activities instead of accessing to public transportation stations.

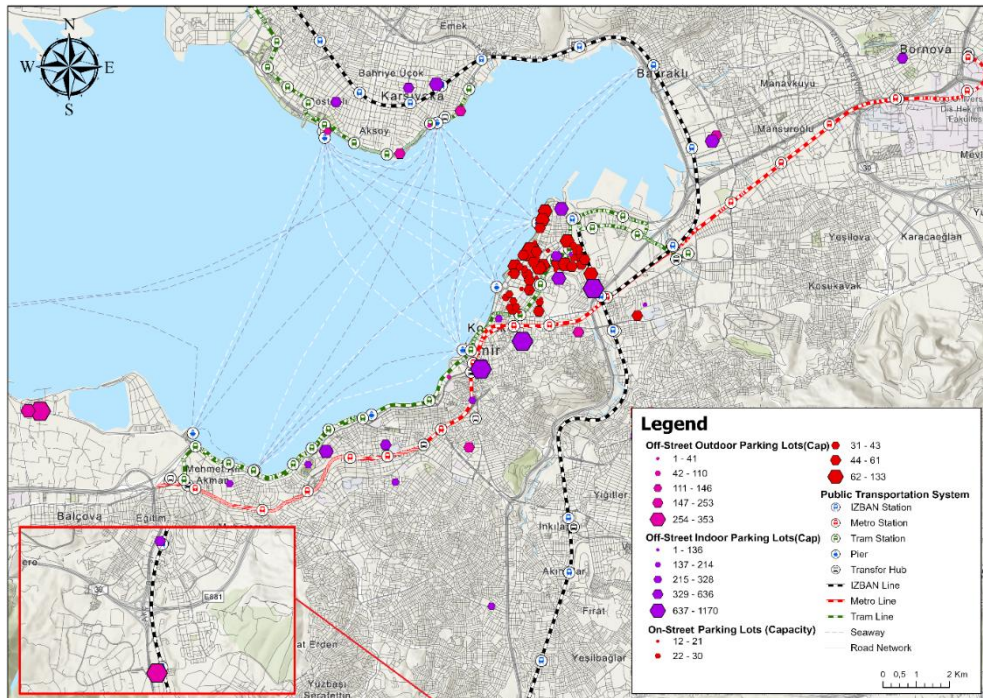


Figure 1. The location of parking lots within cities.

In contrast, the lack of such parking areas or the inability of the municipality to effectively manage existing parking spaces in the northern and inner parts of the city presents a significant issue for urban parking management. A more balanced distribution of parking facilities and improved management strategies are necessary for addressing these issues.

An examination of the distribution and service areas of off-street indoor parking facilities within the city revealed that these facilities were primarily concentrated in areas with major urban attraction locations, particularly in regions such as Bornova, Bayraklı, and Buca (Figure 3). As for the accessibility to transit hub locations, in door parking lots located in Buca, Bornova, Konak and Karşıyaka are accessible within 800 m

service area. However, it appears that the primary intent behind the strategic placement of these parking structures is not necessarily to facilitate integration with public transportation stations, especially rail transit stations (see Figure 3). In high-commercial activity areas, such as Alsancak and Konak, the presence of high-capacity off-street indoor parking facilities suggests an urban planning strategy aimed at addressing the higher vehicular traffic generated by the area's commercial operations. Furthermore, in the northern part of the city, particularly in the Karşıyaka district, parking structures are strategically positioned in proximity to rail transit stations, in line with the Park & Ride strategy. This approach seeks to enhance overall transportation efficiency by encouraging users to park their vehicles and continue their journey via public transport, thereby promoting a

more integrated and sustainable urban mobility system. Furthermore, accessibility to ferry ports within 800 m service area was only valid for parking lots located in southern part of the gulf as shown in Figure 3. An analysis of the service areas of off-street outdoor parking facilities reveals that the highest parking capacity were located at İnciraltı Kent Ormanı, within the city's recreational and entertainment district (Figure 4a), and near the shopping mall in the Gaziemir region (Figure 4e). These parking facilities were characterized by higher capacity, largely due to their proximity to key urban attraction points. However, it is important to note that, despite their high capacity, these locations exhibited limited access to public transportation stations. In the Karşıyaka district, located to the north of the gulf, there were parking facilities in close proximity to rail system stations, transfer hubs, and the ferry terminal (Figure 4b). This strategic placement suggested that these parking locations have been effectively positioned to facilitate seamless multimodal transportation, supporting efficient connectivity within the urban transport network. The off-street outdoor parking lot located in Bayraklı (Figure 4c) lacked integration of public transportation facilities.

In addition to visual representation for accessibility evaluation, the statistical comparison has been made to highlight the specific differences in accessibility between various types of parking facilities and public transportation systems in İzmir, as tabulated in Table 2. It can be concluded that a substantial

81% of on-street parking lots are within 400 meters of tram stations, indicating a strong spatial correlation with this mode of transit. On the other hand, only 2% and 8% of on-street parking lots are within 400 meters of İZBAN and metro stations, respectively. A substantial majority of these lots fall outside the service areas of other major transit systems—94% are beyond 800 meters from İZBAN stations and 69% from metro stations—indicating a weak integration with regional rail systems. Average access distance is 400 meters in overall but higher for metro (493.3 m) and İZBAN (466.7 m). Off-street outdoor parking lots demonstrate relatively low levels of accessibility to public transportation facilities. Only a small portion—9% or less—of these 11 parking lots are located within 400 meters of any public transport node. The majority, ranging between 55% and 73%, fall outside the 800 m service area thresholds. Notably, these parking lots exhibit the highest average access distances among all categories, with 600.0 meters for metro stations and 520.0 meters for İZBAN. These figures indicate that off-street outdoor parking facilities are often positioned in locations that are not well integrated with major transit lines.

The off-street indoor parking lots, totaling 23 facilities, demonstrate relatively stronger integration with public transportation compared to other parking types. According to the data, 22% of these lots are located within 400 meters of İZBAN and metro stations, and 43% are within 400 meters of tram lines.

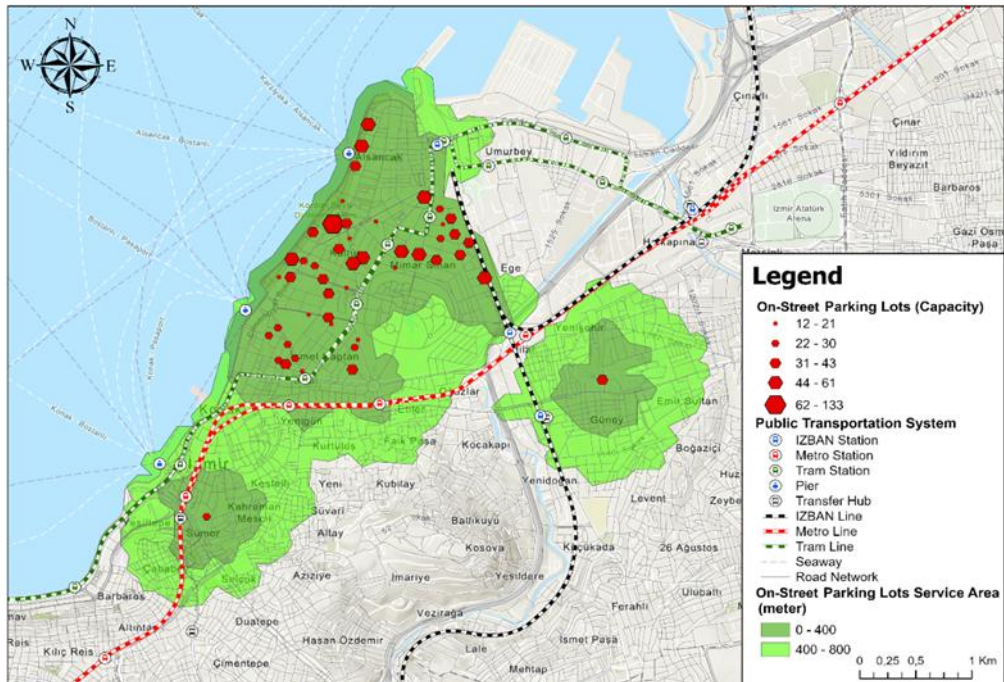


Figure 2. Service areas of on-street parking lots.

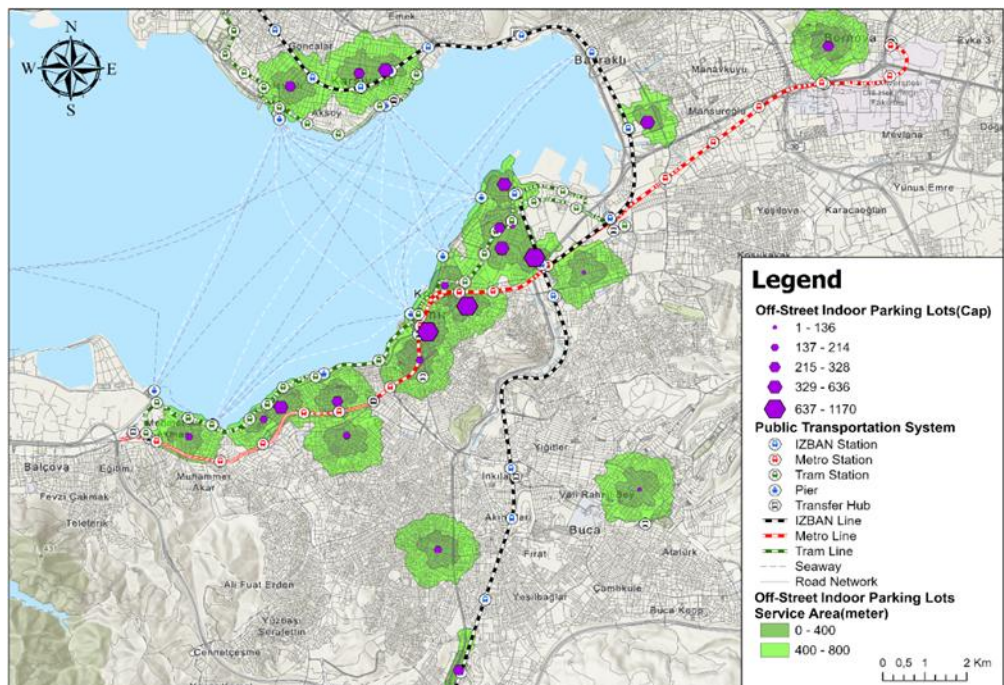


Figure 3. Service areas of off-street indoor parking lots.

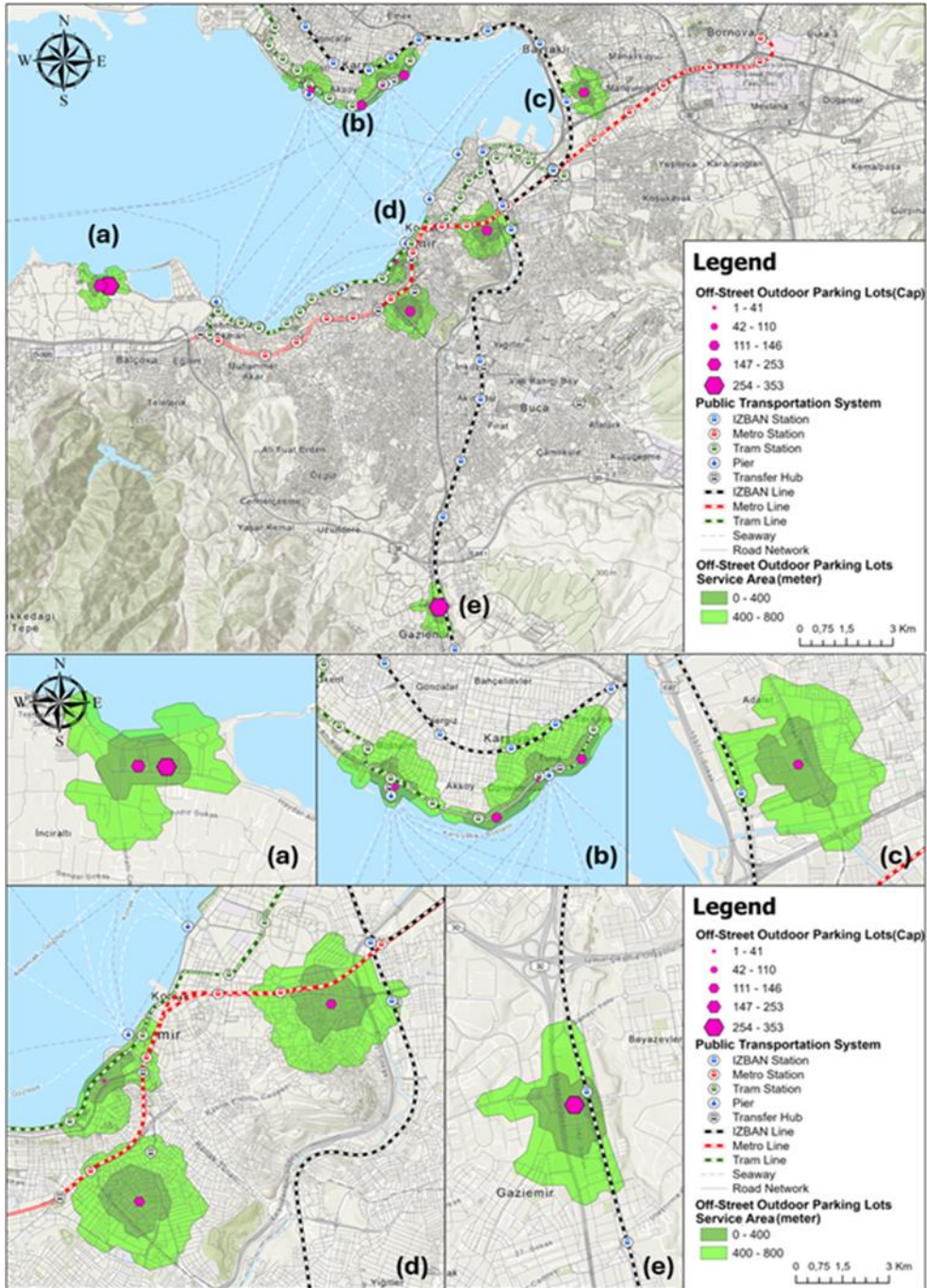


Table 2. Statistical analysis results of different parking lot types to public transportation facilities.

PTS	400 m	800 m	Out of Service Area	Average Access Distance (m)
	# of Parking Lot	# of Parking Lot	# of Parking Lot	
	(in percent)	(in percent)	(in percent)	
On-street: 48 Parking Lot				
Izban	1 (2%)	3 (6%)	45 (94%)	466.7
Metro	4 (8%)	15 (31%)	33 (69%)	493.3
Tram	39 (81%)	45 (94%)	3 (6%)	253.3
Pier	10 (21%)	25 (52%)	23 (48%)	440.0
Transfer Hub	1(2%)	2 (4%)	46 (96%)	400.0
Off-street Outdoor: 11 Parking Lot				
Izban	1 (9%)	5 (45%)	6 (55%)	520.0
Metro	0 (0%)	3 (27%)	8 (73%)	600.0
Tram	4 (36%)	5 (45%)	6 (55%)	280.0
Pier	3 (27%)	5 (45%)	6 (55%)	360.0
Transfer Hub	3 (27%)	6 (55%)	5 (45%)	400.0
Off-street Indoor: 23 Parking Lot				
Izban	5 (22%)	9 (39%)	14 (61%)	377.8
Metro	5 (22%)	11 (48%)	12 (52%)	418.2
Tram	10 (43%)	14 (61%)	9 (39%)	314.3
Pier	1 (4%)	7 (30%)	16 (70%)	542.9
Transfer Hub	2 (9%)	7 (30%)	16 (70%)	485.7

*PTS=Public Transportation System

Accessibility to tram services is particularly high, with 14 out of 23 lots (61%) within 800 meters, and the average access distance to tram stops is the lowest among all public transport modes at 314.3 meters.

4. Conclusions and Recommendations

This study provided a comprehensive spatial analysis of parking facility distribution and their accessibility to public transportation in İzmir using a

GIS-based service area approach grounded on pedestrian-accessible network datasets. The analysis revealed a predominant concentration of on-street parking facilities in central business districts such as Konak and Alsancak, where high parking demand stems largely from commercial activity rather than the intention to facilitate access to public transportation nodes.

Off-street indoor parking facilities were found to be mainly situated near major

urban attraction points (e.g., core center of Bornova, Bayraklı, and Buca regions). However, their integration with rail transit or other public transport systems remains limited, indicating a planning approach that prioritizes attraction-driven vehicle access over multimodal transport integration. In contrast, off-street outdoor parking lots offer high capacity but suffer from low transit accessibility, particularly in southern districts. An important exception is observed in Karşıyaka, where the strategic location of both indoor and outdoor parking facilities in close proximity to rail stations and ferry terminals reflects a successful application of Park & Ride strategies, enhancing multimodal connectivity.

The results underscore the necessity for a more balanced spatial distribution of parking infrastructure across the city and a strategic alignment with public transportation systems. To achieve this, it is recommended that future parking site selection processes incorporate multi-criteria decision analysis (MCDA) methods integrated with GIS platforms. Techniques such as the Analytic Hierarchy Process (AHP) or GIS-based MCDA can be utilized to evaluate potential locations based on multiple factors, including land use, proximity to public transit, pedestrian accessibility, and local parking demand patterns. Moreover, the statistical analysis of service area coverage and proximity ratios, comparing distances between parking lots and transport nodes, can identify areas of critical need and guide policy decisions more precisely. Integrating these methods would enable

evidence-based planning and ensure a more efficient allocation of parking infrastructure.

Declaration of Ethical Standards

The authors declare that they comply with all ethical standards.

Credit Authorship Contribution Statement

Author 1: Methodology / Study design, Validation, Visualization, Writing – original draft, Data curation

Author 2: Resources, Research, Writing – original draft, Conceptualization, Methodology / Study design, Writing – review and editing, Supervision, Validation, Data curation

Author 3: Research, Writing – original draft, Conceptualization, Methodology / Study design, Writing – review and editing

Declaration of Competing Interest

The authors have no conflicts of interest to declare regarding the content of this article.

Data Availability

All data generated or analyzed during this study can be shared upon request.

Acknowledgment

The authors obtained the parking data from the İzmir Metropolitan Municipality (İBB) open data portal and express their gratitude to İBB for granting access to this data.

5. References

- Alinia, K., Yarahmadi, A., Zarin, J. Z., Yarahmadi, H., & Lak, S. B.. (2015). Parking lot site selection: An opening gate towards sustainable GIS-based urban traffic management, *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 43, 801-813. <https://doi.org/10.1007/s12524-014-0415-3>
- Altıntasi, O., & Yalcinkaya, S. (2022). Siting charging stations and identifying safe

- and convenient routes for environmentally sustainable e-scooter systems. *Sustainable Cities and Society*, 84, 104020. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.104020>
- Aslan, S., & Aydar, U. (2022). Çanakkale ili Merkez ilçesinin otopark sorununun Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile analizi ve çözüm önerileri. *Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi*, 4(1), 34-46. <https://doi.org/10.56130/tucbis.1040112>
- Aydinoglu, A. C., & Iqbal, A. S. (2021). Determining parking demand and locating parking areas using geographic analytics methods, *Journal of Urban Planning and Development*, 147(1), 1-12. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)UP.1943-5444.0000650](https://doi.org/10.1061/(ASCE)UP.1943-5444.0000650)
- Bilgilioglu, S. S. (2022). Site selection for electric vehicle charging station with geographic information systems and fuzzy analytical hierarchy process, *Afyon Kocatepe University Journal of Science and Engineering*, 22 (1), 165-174. <https://doi.org/10.35414/akufemubid.1013244>
- Cigu, E., Agheorghiesei, D. T., Gavriluță, A. F., & Toader, E. (2018). Transport infrastructure development, public performance and long-run economic growth: a case study for the Eu-28 countries. *Sustainability*, 11(1), 67. <https://doi.org/10.3390/su11010067>
- Demir, S., Basaraner, M., & Gumus, A. T. (2021). Selection of suitable parking lot sites in megacities: A case study for four districts of Istanbul, *Land Use Policy*, 111, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105731>
- Dinda, S., Ghosh, S., & Das Chatterjee, N. (2019). An analysis of transport suitability, modal choice and trip pattern using accessibility and network approach: a study of Jamshedpur city, India, *Spatial Information Research*, 27, 169-186. <https://doi.org/10.1007/s41324-018-0223-x>
- Elmacioglu, N., Demirel, N., & Ocal, O. (2025). A hybrid framework for improving sustainable urban mobility: integrating multi-criteria decision-making and maximal covering location problem for bike-sharing system site selection, *Erciyes University Journal of Institute of Science and Technology*, 41 (1), 346-369. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.103843>
- EPI (2019). İzmir Kent Geneli Araç Park Alanları Stratejik Yönetim Eylem Planı.
- Farzanmanesh, R., Naeeni, A. G., & Abdullah, A. M. (2010). Parking site selection management using fuzzy logic and multi criteria decision making. *Environment Asia*, 3(3), 109-116. <https://doi.org/10.14456/ea.2010.49>
- Ford, A. C., Barr, S. L., Dawson, R. J., & James, P. (2015). Transport accessibility analysis using GIS: Assessing sustainable transport in London. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 4(1), 124-149. <https://doi.org/10.3390/ijgi4010124>
- Gulhan, G., & Ceylan, H. (2010). Parking management based approach on parking problem: example of İzmir. *Dokuz Eylul University Faculty of Engineering Journal of Science and Engineering*, 12(1), 63-73.
- Guzel, D., Altintasi, O., Korkut, S.O. (2025). Assessment of weather-driven travel behavior on a small-scale docked bike-sharing system usage. *Travel Behaviour and Society*, 38. <https://doi.org/10.1016/j.tbs.2024.100927>
- Jonuzi, E., Alkan, T., Durduran, S. S., & Selvi, H. Z. (2024). Using GIS-supported MCDA method for appropriate site selection of parking lots: The case study of the city of Tetovo, North Macedonia. *International journal of Engineering and Geosciences*, 9(1), 86-98. <https://doi.org/10.26833/ijeg.1319605>
- Karimi, H., Herki, B. M., Gharibi, S., Hamiditehrani, S., & Kakhani, A. (2020). Identifying public parking sites using integrating GIS and ordered weighted averaging approach in Sanandaj city,

- Iran. *Journal of Critical Reviews*, 7(4), 506-513. <https://doi.org/10.31838/jcr.07.04.95>
- Kirlangicoglu, C. (2016). Urban railway corridor planning based on multi criteria decision making techniques, *Istanbul University Journal of Geography*, 33 (2016), 53-71.
- Kulinich, I., & Lee, H. (2016). Parking site selection in downtown of Khabarovsk city using GIS. *International Journal of Smart Home*, 10(4), 15-24. <http://dx.doi.org/10.14257/ijsh.2016.10.4.02>
- Levy, N., & Benenson, I. (2015). GIS-based method for assessing city parking patterns. *Journal of Transport Geography*, 46, 220-231. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2015.06.015>
- Maciulyte-Sniukiene, A., & Butkus, M. (2022). Does infrastructure development contribute to EU countries' economic growth?, *Sustainability*, 14(9), 5610. <https://doi.org/10.3390/su14095610>
- McShane, M., & Meyer, M. D. (1982). Parking policy and urban goals: Linking strategy to needs. *Transportation*, 11(2), 131-152. <https://doi.org/10.1007/BF00167928>
- Mingardo, G., Van Wee, B., & Rye, T. (2015). Urban parking policy in Europe: A conceptualization of past and possible future trends. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 74, 268-281. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2015.02.005>
- Mitropoulos, L., Karolemeas, C., Tsigdinos, S., Vassi, A., & Bakogiannis, E. (2023). A composite index for assessing accessibility in urban areas: A case study in Central Athens, Greece. *Journal of Transport Geography*, 108, 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2023.103566>
- Ozkan, S. P., Senol, F., & Ozcam, Z. (2020). Bicycle route infrastructure planning using GIS in an urban area: the case of Izmir, *Planning Journal*, 30 (2), 313-327. <https://doi.org/10.14744/planlama.2020.41275>
- Özkaraca, N., & Inceoglu, M. (2021). Üniversite yerleşkelerinde erişilebilirlik değerlendirmesi: Düzce Üniversitesi Kampüsü örneği. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 9(5), 1891-1908.
- Ozturk, D., & Kilic-Gul, F. (2020). GIS-based multi-criteria decision analysis for parking site selection. *Kuwait Journal of Science*, 47(3), 1-15. <https://doi.org/10.48129/kjs>
- Parmar, J., Das, P., & Dave, S. M. (2020). Study on demand and characteristics of parking system in urban areas: A review. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 7(1), 111-124. <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2019.09.003>
- Pekdemir, M.I., Altıntasi, O., Ozen, M. (2024). Assessing the impact of public transportation, bicycle infrastructure, and land use parameters on a small-scale bikesharing system: a case study of Izmir, Türkiye. *Sustain. Cities Soc.* 101. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.105085>
- Solá, A. G., Vilhelmson, B., & Larsson, A. (2018). Understanding sustainable accessibility in urban planning: Themes of consensus, themes of tension. *Journal of Transport Geography*, 70, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2018.05.010>
- Tome, A., Santos, B., & Carvalheira, C. (2019). GIS-based transport accessibility analysis to community facilities in mid-sized cities. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 471(6), 1-10. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/471/6/062034>