

JSAT

JOURNAL OF STUDIES IN ADVANCED TECHNOLOGIES

İLERİ TEKNOLOJİLERDE
ÇALIŞMALAR DERGİSİ



Volume | Cilt: 2

Issue | Sayı: 2

December | Aralık 2024

Journal of Studies in Advanced Technologies

[İleri Teknolojilerde Çalışmalar Dergisi]

JSAT

Volume / Cilt

Issue / Sayı

December / Aralık

2

2

2024

Owner / Sahibi

Prof. Dr. Mehmet Biber
Rector (Rektör), Ardahan University, Türkiye

Editor in-Chief / Baş Editör

Dr. Öğr. Üyesi Arif Cem Topuz, Ardahan University, Türkiye
Dr. Öğr. Üyesi Akif Göktuğ Bozkurt, Ardahan University, Türkiye

Publication Board / Dergi Kurulu

Prof. Dr. Alper Nuhoğlu, Ataturk University, Türkiye
Prof. Dr. Okan Eştürk, Ardahan University, Türkiye
Prof. Dr. Mahmut Fırat, İnönü University, Türkiye
Doç. Dr. Ahmet Akköse, Ataturk University, Türkiye
Doç. Dr. Ali Yeşildağ, Kafkas University, Türkiye
Doç. Dr. Ali Baltakesmez, Ardahan University, Türkiye
Doç. Dr. Asif Yokuş, Fırat University, Türkiye

Editorial Board / Yayın ve Danışma Kurulu

Prof. Dr. Mahmud Güngör, Civil Engineering- Pamukkale University, Türkiye
Prof. Dr. Yalçın Bozkurt, Animal Science- Isparta University of Applied Sciences, Türkiye
Prof. Dr. Yaşar Nuhoğlu, Environmental Engineering, Yıldız Technical University, Türkiye
Prof. Dr. Ümmihan Danış, Environmental Engineering- 19 Mayıs University, Türkiye
Doç. Dr. Abdullah Ateş, Electric-Electronic Engineering- İnönü University, Türkiye
Doç. Dr. Hasan Ufuk Çelebioğlu, Molecular Biology and Genetic, Bartın University, Türkiye
Doç. Dr. Ali Rıza Deniz, Physics, Hakkari University, Türkiye
Doç. Dr. Serbay Duran, Mathematics, Adıyaman University, Türkiye
Doç. Dr. Hülya Durur, Mathematics, Ardahan University, Türkiye
Dr. Öğr. Üyesi Ayşe Burcu Atalay, Food Engineering, Iğdır University, Türkiye

Doç. Dr. Bilge Ertekin Filiz, *Food Engineering, Süleyman Demirel University, Türkiye*
Dr. Öğr. Üyesi Ezgi Demir Özer, *Food Engineering, Kapadokya University, Türkiye*
Dr. Öğr. Üyesi Gülsen Kılınç, *Mathematics, Adıyaman University, Türkiye*
Doç. Dr. Mehmet Murat Ceylan, *Food Engineering, Hatay Mustafa Kemal University, Türkiye*
Dr. Öğr. Üyesi Semahat Doruk, *Chemical Engineering, Çankırı Karatekin University, Türkiye*
Dr. Öğr. Üyesi Sevda Ocak, *Environmental Engineering, Giresun University, Türkiye*
Dr. Öğr. Üyesi Sevgin Dıblan, *Food Engineering, Tarsus University, Türkiye*
Dr. Öğr. Üyesi Ümit Yaşar, *Medical Biochemistry, Ardahan University, Türkiye*
Dr. Öğr. Üyesi Zehra Gül Yaşar, *Physiology, Ardahan University, Türkiye*
Dr. Öğr. Üyesi Nihat Emre Börekçi, *Ardahan University, Türkiye*
Dr. Lütfi Bilal Taşyürek, *Physics, Malatya Turgut Özal University, Türkiye*
Dr. Didem Rodoplu Solovchuk, *Nanotechnology, National Health Research Institutes, Taiwan*

Writing Editor / Yazın Editörü

Dr. Öğr. Üyesi Niyazi İpek, *Ardahan University, Türkiye*

Layout Editor / Mizanpaj Editörü

Dr. Öğr. Üyesi Nihat Emre Börekçi, *Ardahan University, Türkiye*

Technical Coordinator / Teknik Koordinatör

Öğr. Gör. Sinan Üst, *Ardahan University, Türkiye*

Journal of Studies in Advanced Technologies (JSAT) is an international, peer-reviewed journal, published biannually (June and December). Publication languages are Turkish and English. During the publication process of articles, similarity control reports for each submission are provided by both our journal system (DergiPark) and the authors. JSAT is an open access and licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

İleri Teknolojilerde Çalışmalar Dergisi (JSAT) uluslararası, hakemli bir dergidir ve yılda iki sefer Haziran ve Aralık aylarında yayınlanmaktadır. Yayın dili Türkçe ve İngilizcedir. Makalelerin yayınlanması sürecinde her gönderim için benzerlik kontrol raporları hem dergi sistemimiz (DergiPark) hem de yazarlar tarafından sağlanmaktadır. JSAT makaleleri açık erişimlidir ve Creative Commons Atıf-GayriTicari 4.0 Uluslararası Lisansı ile lisanslanmıştır.



<https://jsat.ardahan.edu.tr>
jsat@ardahan.edu.tr

CONTENTS / İÇİNDEKİLER

Author(s) /Yazar(lar)	Title /Başlık	Page/Sayfa
İlteriş Taşkolcu Reşat Acar Burak Çırağ	(Research article/Araştırma makalesi) Trend Analysis of Precipitation and Temperatures in the Black Sea Region Using the Innovative Trend Analysis <i>Karadeniz Bölgesinin Yenilikçi Şen Yöntemi Kullanılarak Yağış ve Sıcaklıklarının Trend Analizi</i>	74-82
Necla Barlık Rövşen Guliyev Mustafa Akgün	(Research article/Araştırma makalesi) The Levels of Main Air Pollutant Parameters and Their Effects on Air Quality Index for Ardahan in the Period 2019 – 2023 <i>2019 – 2023 Döneminde Ardahan'da Başlıca Hava Kirleticisi Parametrelerinin Seviyeleri ve Hava Kalitesi İndeksine Etkileri</i>	83-94
Furkan Boztaş Mahmut Fırat	(Research article/Araştırma makalesi) Creation and Calibration of Hydraulic Model for Leakage Management in Water Distribution Systems <i>İçmesuyu Dağıtım Sistemlerinde Sızıntı Yönetimi için Hidrolik Modelin Oluşturulması ve Kalibrasyonu</i>	95-107
Salih Serkan Kaleli	(Research article/Araştırma makalesi) Measuring Digital Data Security Awareness: The Case of Higher Education Institution <i>Dijital Veri Güvenliği Farkındalığının Ölçümlemesi: Yükseköğretim Kurumu Örneği</i>	108-119
Serkan Yıldırım Arif Daş Cem Bölen Ömer Arpacık Orhan Çeliker Mustafa Akbuğa Eda Tör	(Research article/Araştırma makalesi) Supervised Mobile Digital Examination System: Technological Components Proposal <i>Akademik Yayınlarla Ait Bilgi Grafik Formlarının Hazırlanmasına Yönelik Bir Tasarım Çerçevesinin Geliştirilmesi ve Değerlendirilmesi</i>	120-135
Bilge Sayın	(Research article/Araştırma makalesi) Biomass Production by <i>Yarrowia lipolytica</i> from Olive Mill Wastewater: Evaluation of Protein Content <i>Zeytinyağı Değirmeni Atıksuyundan <i>Yarrowia lipolytica</i> ile Biyokütle Üretimi: Protein İçeriğinin Değerlendirilmesi</i>	136-143



Research Article

Trend Analysis of Precipitation and Temperatures in the Black Sea Region Using the Innovative Trend Analysis

İlteriş Taşkolı¹, Reşat Acar², Burak Çırağ²*

¹ Construction Technology Program, Vocational School, Istanbul Esenyurt University, 34510, Esenyurt, Istanbul, Türkiye

² Civil Engineering Department, Engineering Faculty, Atatürk University, 25240, Yakutiye, Erzurum, Türkiye

* Correspondence: burak.cirag@atauni.edu.tr

Received: 26 June 2024; Accepted: 22 October 2024; Published: 31 December 2024

Abstract: To assess the climatic characteristics of the Black Sea Region, trend analyses were performed with Innovative Trend Analysis (ITA) using precipitation and temperature data obtained from the General Directorate of Meteorology (MGM) for 13 provinces (Amasya, Artvin, Bolu, Giresun, Gümüşhane, Kastamonu, Ordu, Rize, Samsun, Sinop, Tokat, Trabzon and Zonguldak). The findings show that there is a general upward trend in both precipitation and temperature. However, the fact that the temperature trend shows a more pronounced increase than precipitation increases the likelihood that the Black Sea Region will face drought risk in the future. Graphical analysis reveals that Rize, Samsun, Sinop, and Trabzon stations show a steady upward trend in precipitation data. Although the graph of Tokat station does not show a clear trend, statistical analysis shows a low increasing trend. On the other hand, temperature trend analyses show a clear and significant increasing trend in all stations, which is clearly demonstrated in the graphs. This finding emphasizes that the temperature increase in the region is widespread and significant. The fact that the precipitation in Tokat station is almost in a constant trend while the temperature is in a significantly increasing trend indicates that important measures should be taken in terms of drought risk. The study provides important outputs for future studies, local administrators and decision-makers.

Keywords: Black sea region, temperature, trend analysis, precipitation, innovative trend analysis

Araştırma Makalesi

Karadeniz Bölgesinin Yenilikçi Şen Yöntemi Kullanılarak Yağış ve Sıcaklıklarının Trend Analizi

Öz: Karadeniz Bölgesi'nin iklimsel özelliklerini değerlendirmek amacıyla 13 il (Amasya, Artvin, Bolu, Giresun, Gümüşhane, Kastamonu, Ordu, Rize, Samsun, Sinop, Tokat, Trabzon ve Zonguldak) için Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM)'nden temin edilen yağış ve sıcaklık verileri kullanılarak Yenilikçi Şen Yöntemi (ITA) ile trend analizleri gerçekleştirilmiştir. Bulgular hem yağış hem de sıcaklıkta genel bir artış eğilimi olduğunu göstermektedir. Ancak, sıcaklık eğiliminin yağışa göre daha belirgin bir artış göstermesi, Karadeniz Bölgesi'nin gelecekte kuraklık riskiyle karşı karşıya kalma olasılığını artırmaktadır. Grafikselsel analiz, Rize, Samsun, Sinop ve Trabzon istasyonlarının yağış verilerinde istikrarlı bir artış trendi gösterdiğini ortaya koymaktadır. Tokat istasyonu grafiği, belirgin bir trend göstermese de istatistiksel analizler düşük bir artış eğilimi olduğunu göstermektedir. Sıcaklık trend analizleri ise tüm istasyonlarda belirgin ve önemli bir artış eğilimi tespit etmiş, bu durum grafiklerle açıkça ortaya konmuştur. Bu bulgu, bölgedeki sıcaklık artışının yaygın ve belirgin olduğunu vurgulamaktadır. Tokat istasyonunda yağışın neredeyse sabit bir trendde seyrederken, sıcaklığın belirgin bir artış eğiliminde olması, kuraklık riski açısından önemli tedbirlerin alınması gerektiğini işaret etmektedir. Çalışma, gelecekte yapılacak çalışmalara, yerel yöneticilere ve karar vericilere önemli çıktılar sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Karadeniz bölgesi, sıcaklık, trend analizi, yağış, yenilikçi şen yöntemi

Citation: İ. Taşkolı, R. Acar, and B. Çırağ, "Trend Analysis of Precipitation and Temperatures in the Black Sea Region Using the Innovative Trend Analysis", *Journal of Studies in Advanced Technologies*, vol. 2, no. 2, pp. 74-82, Dec 2024, doi: 10.63063/jsat.1505540

1. Introduction

The Black Sea Region is located in the north of Turkey and attracts attention with its natural beauties, biodiversity, and economic potential. Agriculture, fisheries, tourism, and energy sectors have an important place in the region [1]. However, climate change and related environmental factors directly affect economic activities and living conditions in the region. Therefore, a detailed analysis of climate data in the Black Sea Region is of great importance for determining sustainable development and environmental management strategies [2].

In recent years, urban floods have been occurring due to factors such as the increase in impervious areas with urbanization and short-term and heavy rainfall [3], [4]. In addition to the frequent occurrence of such disasters in the Black Sea Region, the region with the highest rainfall in Turkey, increasing temperatures with climate change also increase the risk of drought. Therefore, it is very important to determine the trends of precipitation and temperature along with drought analysis of the region. There are many methods in the literature for trend analysis. One of them is ITA. ITA is a modern method used to detect and analyze trends in time series data. ITA provides more flexible and sensitive results than traditional trend analysis methods [5]. This method has a wide range of applications in various fields such as climate change studies, water resources management, agricultural productivity, and environmental analysis.

The main purpose of ITA is to make predictions about the trends of data sets by determining the temporal changes of data at certain time intervals. In doing so, it provides analysis results in two different methods: the graphical method and the statistical method. The ITA method is especially preferred for analyzing long-term meteorological data. Drought analysis was performed using precipitation data measured between 1929-2016 in Diyarbakır. Drought index values were determined at 1, 3, 6, and 12-month time scales with the Standardized Precipitation Index. Drought trends were analyzed using ITA and the driest periods were determined as 8, 18, 21 and 53 months in 1, 3, 6, and 12-month time scales, respectively. As a result of the analysis, it was found that extreme dry periods have decreased in recent years and there is a tendency to decrease by more than 5% in moderately humid periods [6]. Monthly evaporation data from Gaziantep, Şanlıurfa, and Mardin were analyzed by the Mann-Kendall test and ITA. At Şanlıurfa station, significant increasing trends were detected at 95% confidence intervals in May and September and 90% confidence intervals in October. In May, this increase was calculated as 0.98%/year. The ITA method showed the presence of trends at low, medium, and high values. As a result, it was determined that the ITA method can be an alternative to monotonic trend analysis with its ease of calculation and ability to present graphical results [7]. Monthly and annual streamflow drought indices of 7 streamflow observation stations in the Yeşilirmak basin were trend analyzed. In the analyses performed using the Mann-Kendall, ITA, and Thiel-Sen Approach, trend-free pre-whitening was applied to remove serial dependencies. In the results evaluated according to 1% and 5% significance levels, it was observed that ITA was more sensitive and graphically superior compared to the Mann-Kendall test. The study showed that increasing hydrological drought trends dominate in the region [8]. Using monthly precipitation data from nine meteorological stations in the Tigris Basin, drought analysis was performed with the Standardized Precipitation Index at time scales of 3, 6, 12, and 24 months. In the trend analysis with ITA, the longest dry period was observed at the Cizre station with 158 months in the SYI-24 time scale. The highest drought rate was determined as 58% at Yüksekova station in SYI-12. In addition, a "very strong" decreasing trend was detected at Maden station on all time scales [9]. Temperature trends of 14 provinces in the Eastern Anatolia Region were analyzed and Mann-Kendall test and ITA were used. According to the results of the analysis, a positive trend was found in 12 provinces and a downward trend in Erzurum. No trend was found in Bitlis at a 95% confidence interval. The results of the three methods largely supported each other within a 95% confidence interval [10].

This study aims to determine the climatic trends of the Black Sea Region by using annual average temperature and precipitation data between 1962 and 2023. This analysis using ITA aims to reveal the temporal dynamics of climate changes in the region. The datasets to be used in the study were obtained from MGM and this dataset includes annual average temperature and precipitation data. In the analysis process, it is aimed to identify trends in temperature and precipitation data, to evaluate the statistical significance of these trends, and to provide predictions about the future climatic dynamics of the region. The findings will contribute to the development of sustainable agriculture, water resources management, and environmental protection policies in the Black Sea Region. It will also shed light on the strategic planning necessary for the adaptation

of the region to climate change. In this context, the results of the study are expected to provide important information for decision-makers and policymakers in the region.

2. Materyal ve Metot

2.1. Study area

In this study, the provinces of Amasya, Artvin, Bolu, Bolu, Giresun, Giresun, Gümüşhane, Kastamonu, Ordu, Rize, Samsun, Samsun, Sinop, Tokat, Trabzon and Zonguldak in the Black Sea Region were determined as the study area to perform trend analysis. In this context, total precipitation and average temperature data for the monthly time period between 1962-2023 were obtained from MGM. The locations of the provinces and meteorological observation stations determined as study areas in Turkey are given in Figure 1.

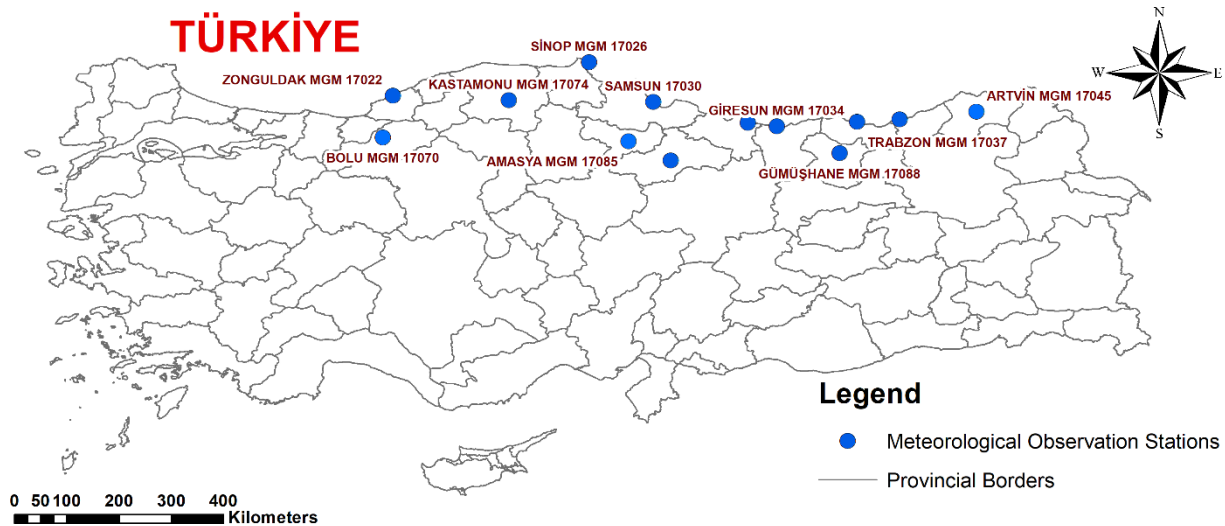


Figure 1. Black Sea region and meteorological observation stations

The number, basin, and altitude values of the meteorological observation stations are shown in Table 1.

Table 1. Characteristics of Meteorological Observation Stations

Station Number	Station name	Basin name	Station Altitude
17085	Amasya	Yeşilirmak	409
17045	Artvin	Çoruh	613
17070	Bolu	Batı Karadeniz	743
17034	Giresun	Doğu Karadeniz	38
17088	Gümüşhane	Doğu Karadeniz	1,216
17074	Kastamonu	Kızılırmak	800
17033	Ordu	Doğu Karadeniz	5
17040	Rize	Doğu Karadeniz	3
17030	Samsun	Yeşilirmak	4
17026	Sinop	Batı Karadeniz	32
17086	Tokat	Yeşilirmak	611
17037	Trabzon	Doğu Karadeniz	25
17022	Zonguldak	Batı Karadeniz	135

2.2. ITA

In this study, the ITA method proposed by Şen [2] is used to perform trend analysis. The main advantage of ITA, unlike other trend analyses, is that it does not require any assumptions or control of the distribution [11], [12]. In addition, ITA is widely used as it allows to identify in which region the trends are concentrated with a graphical technique [13]. The main purpose of ITA is to estimate the trends of data belonging to the same time series. The time series is divided into two equal periods, the first half-time series and the second half-time series. The data sets of both half-time series are sorted from smallest to largest. The sorted data set of the first half-time series is positioned on the x-axis in the coordinate system and the sorted data set of the

second half-time series is positioned on the y-axis in the coordinate system. And then the x=y line is drawn. According to whether the marked data sets are above or below this line, predictions such as decreasing, increasing, or no trend can be made [14].

ITA's graphical method process steps are as follows;

- Time series with n number of data

$$(x_1, x_2, \dots, x_n), \{y_{1,n/2}\} = \{x_1, x_2, \dots, x_{n/2}\} \text{ ve } \{y_{2,n/2}\} = \{x_{n/2+1}, x_{n/2+2}, \dots, x_n\}$$

is separated according to two simultaneous times.

- The data are sorted from smallest to largest;

$$\{r_1\} = \{\min(y_{1,n/2}), \dots, y_i, \dots, \max(y_{1,n/2})\} \quad (1 < i < n/2)$$

$$\{r_2\} = \{\min(y_{2,n/2}), \dots, y_j, \dots, \max(y_{2,n/2})\} \quad (1 < j < n/2)$$

$$\{r_1\} = \{\max(y_{1,n/2}), \dots, y_i, \dots, \min(y_{1,n/2})\} \quad (1 < i < n/2)$$

$$\{r_2\} = \{\max(y_{2,n/2}), \dots, y_j, \dots, \min(y_{2,n/2})\} \quad (1 < j < n/2)$$

as new series are obtained.

- The values in clusters $\{r_1\}$ and $\{r_2\}$ are matched in pairs and shown in the scatter diagram. In the graph, the same scale is used on the horizontal and vertical axes and the smallest values of $\{r_1\}$ and $\{r_2\}$ are matched. Similarly, the largest values of $\{r_1\}$ and $\{r_2\}$ are also matched and these points have coordinates $[\min(y_{1,n/2}), \min(y_{2,n/2})], \dots, [\max(y_{1,n/2}), \max(y_{2,n/2})]$. In this case, the $\{r_1\}$ data represents the first half of the series on the horizontal axis, and the $\{r_2\}$ data represents the second half of the series on the vertical axis.
- The 1:1 line is drawn.
- A 1:1 line represents perfect correlation. The trend can be interpreted by looking at whether the data is above or below this line. If the majority of the data lies above the line, this indicates an upward trend; if the majority lies below the line, this indicates a downward trend. If a data point is just above the line, it can be said that there is no upward or downward trend for this data [15].

In the graphical method; if the data sets are clustered above the 1:1 line, it indicates an increasing trend, and if they are clustered below, it indicates a decreasing trend. In some cases, the graphical method does not give clear results about the direction of the trend. Therefore, the results should be checked statistically [16]. The equations used for this are as follows:

$$\sigma_s^2 = \frac{4}{n^2} (E(\bar{y}_2^2) - 2E(\bar{y}_2\bar{y}_1) + E(\bar{y}_1^2)) \quad (1)$$

$$\rho_{\bar{y}_1\bar{y}_2} = \frac{(E(\bar{y}_1\bar{y}_2) - E(\bar{y}_2)E(\bar{y}_1))}{\sigma_{\bar{y}_1}\sigma_{\bar{y}_2}} \quad (2)$$

$$\sigma_s^2 = \frac{8}{n^2} \frac{\sigma^2}{n} (1 - \rho_{\bar{y}_2\bar{y}_1}) \quad (3)$$

$$\sigma_s^2 = \frac{2\sqrt{2}}{n\sqrt{n}} \sigma \sqrt{1 - \rho_{\bar{y}_2\bar{y}_1}} \quad (4)$$

$$CL_{(1-\alpha)} = 0 \mp S_{critical} \sigma_s \quad (5)$$

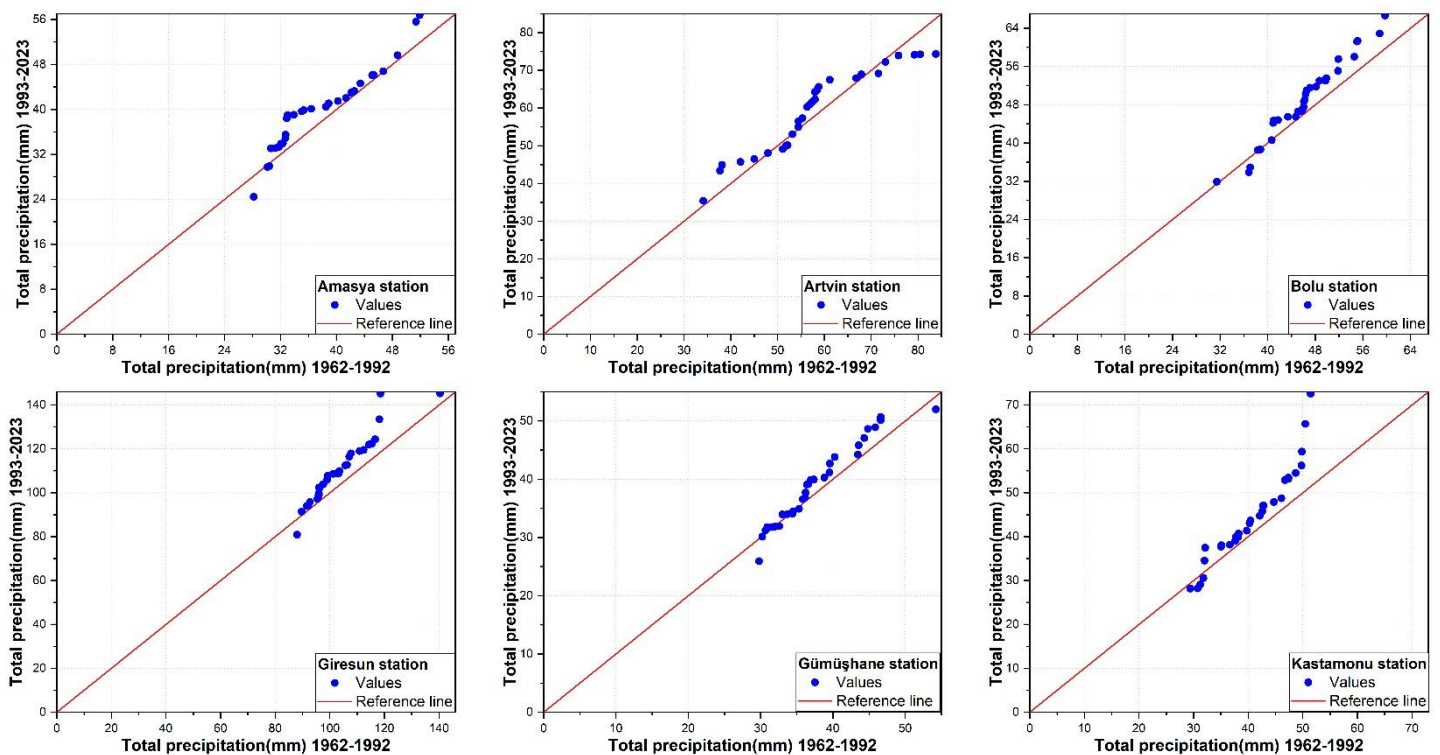
In the equations, (\bar{y}_1) is the mean of the first data, (\bar{y}_2) is the mean of the second data, (ρ) is the correlation between the first and second data, s is the slope value, n is the number of data, σ is the standard deviation of all data, and σ_s is the standard deviation of the slope [17].

$s_{critical}$ refers to the Z critical values for a one-way hypothesis (e.g. at the 95% confidence level). The critical upper and lower limit values calculated in the last step of the statistical check are established to determine the limits of the hypothesis test. If the trends of the data obtained from individual stations are outside the upper and lower confidence limits of the critical s value, it can be said that a trend is present in the data analyzed. To determine whether this trend is increasing or decreasing, the sign of the critical s is examined. A positive slope value s indicates an upward trend in the data, while a negative slope value indicates a downward trend [16].

3. Results and discussion

Trend analysis is often used to determine the climatic characteristics of a region. Although it cannot give as clear results as drought indices, knowing the trends of temperature and precipitation provides a strong estimate of the drought status of the region. ITA, which has gained a place in the existing studies in the literature, has some important advantages over other trend analysis methods. One of these advantages is that it offers a statistical solution together with the graphical method.

In the graphical method, clustering of the data in the upper region of the trend line indicates an increasing trend, clustering in the lower region indicates a decreasing trend, and clustering above the trend line indicates that there is no clear trend. For 13 provinces in the Black Sea Region (Amasya, Artvin, Bolu, Giresun, Giresun, Gümüşhane, Kastamonu, Ordu, Rize, Samsun, Sinop, Tokat, Trabzon and Zonguldak), trend analyses were carried out with the ITA method using precipitation and temperature data obtained from MGM. As a result of these analyses, it was determined that, in general, precipitation and temperature values have an increasing trend. However, the fact that the temperature increase shows a higher trend compared to the precipitation increase increases the risk of the Black Sea Region facing drought in the future. As a result of the analysis, the trend graph of precipitation data is given in Figure 2 and the trend graph of temperature data is given in Figure 3.



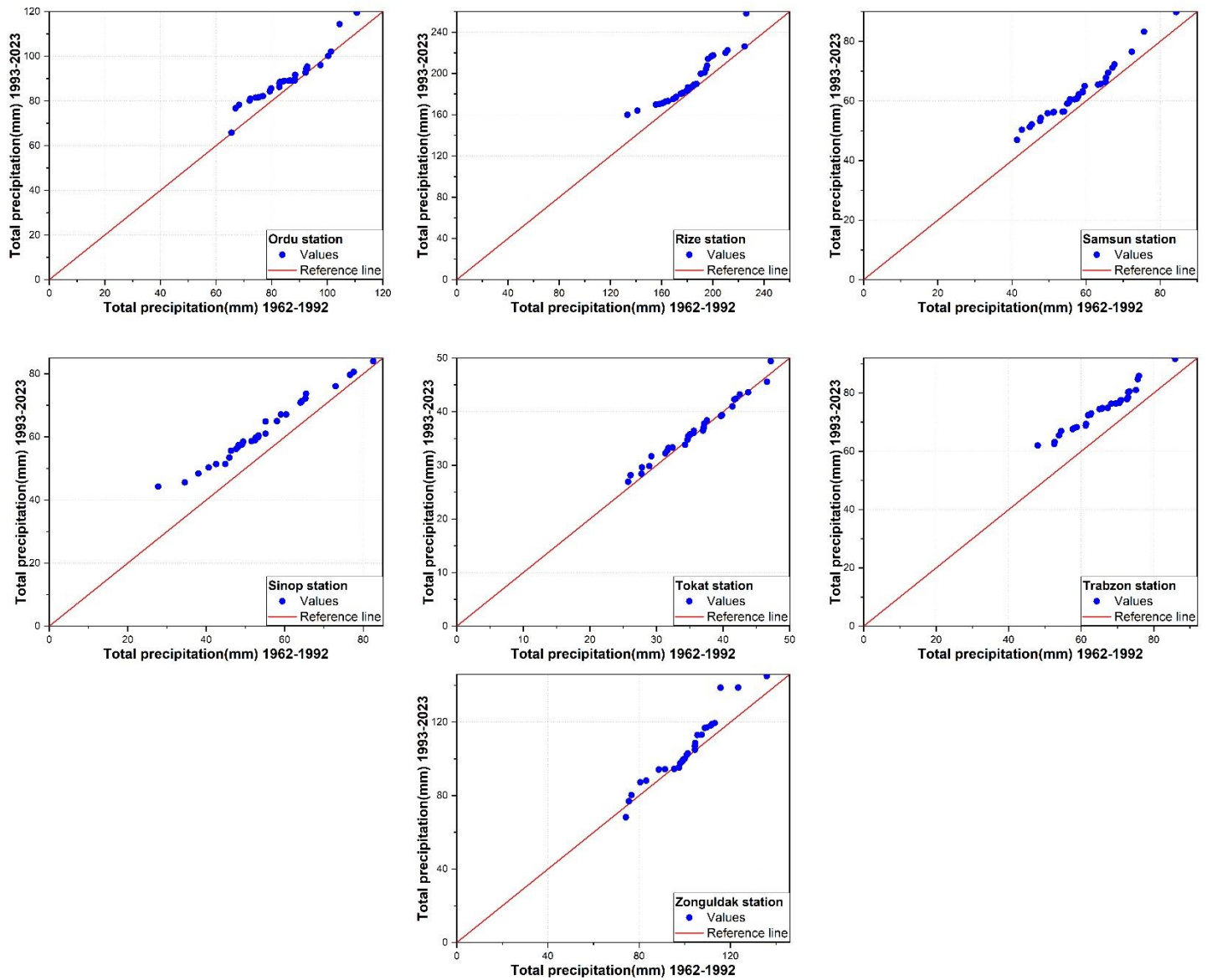


Figure 2. Analysis of precipitation records according to ITA

As a result of the precipitation analysis, the evaluations made by using the graphical method reveal that the values of Rize, Samsun, Sinop, and Trabzon stations are all located above the trend line, indicating a steady increase in precipitation. When the graph of the landlocked Tokat station is examined, it is observed that many points are clustered on the trend line. Although this implies that there is no clear trend, the analysis by statistical methods shows that the slope value (0.01365) is greater than the Scritic value (0.01129). This reveals that there is an upward trend, albeit at a very low rate. In their study, Partal and Yavuz [18] conducted a trend analysis of precipitation data in the Central Black Sea and Eastern Black Sea Region with the ITA method. As a result of this study, they observed that there is an increasing trend in all stations. In this respect, their findings are similar to this study.

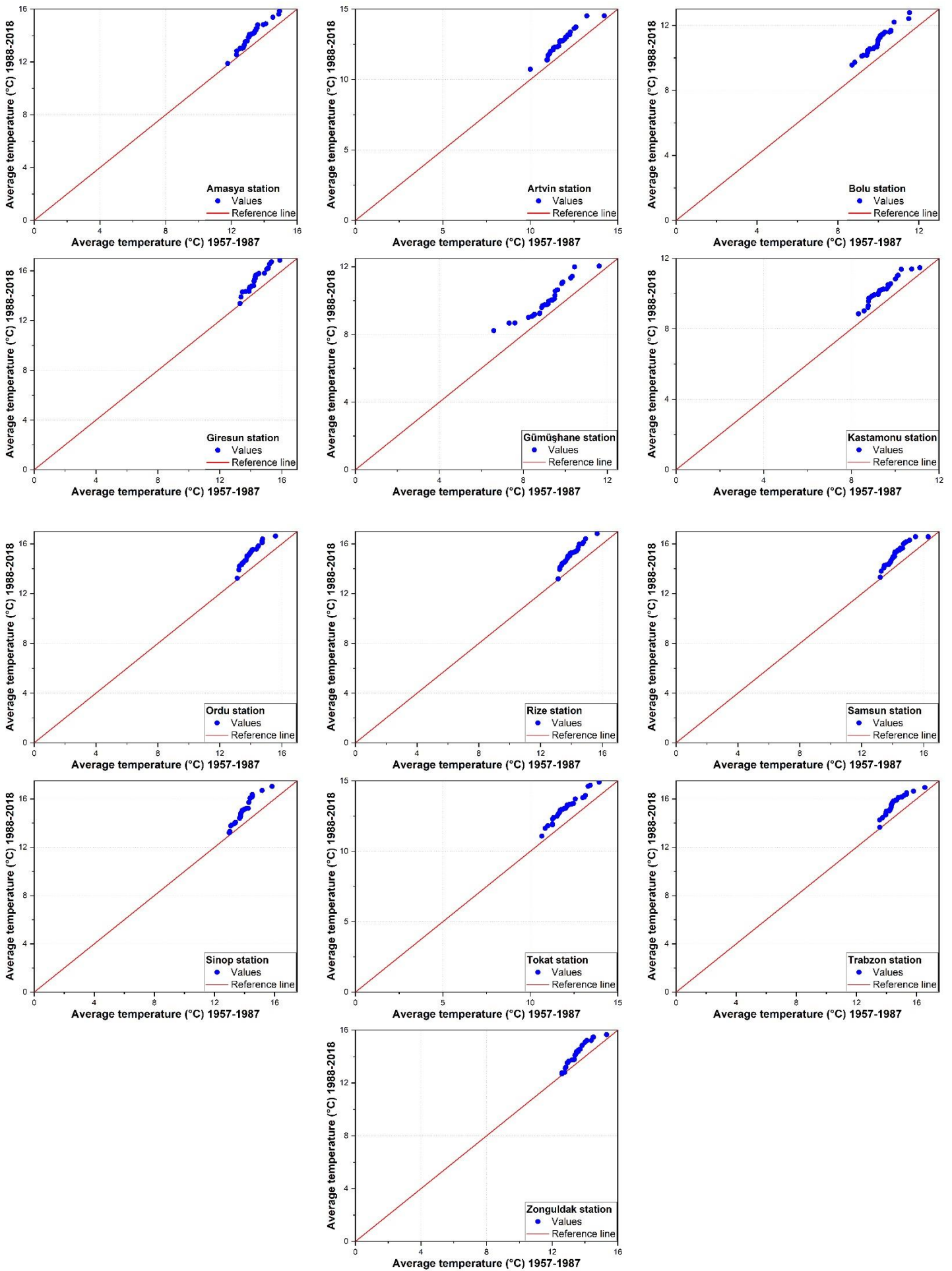


Figure 3. Analysis of temperature records according to ITA

According to the results of temperature trend analyses, significantly increasing trends were detected in all stations. Examination of the graphs clearly revealed this situation and there was no need to resort to statistical methods. This clear and consistent increase in the graphs clearly shows that the temperature values have increased at a high rate at each station. This finding reveals how significant and widespread the temperature increase in the region is. The fact that the precipitation at Tokat station is almost in a constant trend while the temperature is in a significant upward trend indicates that important measures should be taken in terms of drought risk. Tokgöz and Partal [17] conducted trend analyses using precipitation and temperature data for the Black Sea Region using Mann-Kendall and ITA methods. While an increase in precipitation and temperature was observed according to the results of the ITA method, it was stated that this increase was not observed in all stations according to the Mann-Kendall method. The analyses they obtained as a result of their study gave similar results with this study.

4. Conclusions

This study analyzed precipitation and temperature data with ITA to understand the climatic dynamics of the Black Sea Region and revealed the future climatic risks of the region. The findings generally show increasing trends in both precipitation and temperature values. In particular, the fact that the increase in temperature is more pronounced than the increase in precipitation indicates that the Black Sea Region may face the danger of drought in the future. This situation indicates that the region has become more vulnerable to the impacts of climate change.

The results of the graphical analyses revealed a steady increase in precipitation in coastal provinces such as Rize, Samsun, Sinop, and Trabzon, while in Tokat province, the precipitation trend was not evident but showed a statistically low increasing trend. This finding suggests that climate change impacts in inland areas may be more complex. Analysis of temperature data showed a clear and significant increasing trend in all stations. Although the precipitation trend in Tokat province remains constant, the increasing trend of temperature suggests that there may be an increase in the severity of drought. However, an examination of the geological structure of the region will contribute to a more accurate and comprehensive conclusion on this issue.

In conclusion, this study shows how increasing temperature trends and precipitation changes in the Black Sea Region affect the climatic balance of the region and emphasizes the need to take measures against future climate risks. The development of regional climate strategies, water resources management, and drought mitigation policies should become an urgent priority in light of these findings. The continuation of such studies will help us better understand the impacts of climate change at the local level and develop regional adaptation strategies.

Author Contribution Rate

Methodology, B.Ç. and İ.T.; Software, İ.T.; Validation, B.Ç.; Investigation, B.Ç. and İ.T.; Writing – Review & Editing B.Ç., İ.T. and R.A.; Supervision, R.A. All authors have read and accepted the published version of the manuscript.

Acknowledgements

The authors thank the T.C. General Directorate of Meteorology (MGM) for the data.

Conflict of Interest Statement

The authors declare no conflict of interest.

References

- [1] DPT, "Türkiye'nin Kalkınma Planı ve Karadeniz Bölgesi," Devlet Planlama Teşkilatı, Ankara, Türkiye, 2010.
- [2] Z. Şen, "Innovative trend analysis methodology," *Journal of Hydrologic Engineering*, vol. 17, no. 9, pp. 1042–1046, 2012.
- [3] IPCC, "Climate Change 2013: Synthesis Report", Valencia, Spain, 2013.
- [4] B. Çırağ and M. Firat, "Two-dimensional (2D) flood analysis and calibration of stormwater drainage systems using geographic information systems," *Water Science & Technology*, vol. 87, no. 10, pp. 2577–2596, 2023.
- [5] Z. Şen, "Innovative trend significance test and applications," *Theoretical and Applied Climatology*, vol. 127, pp. 939–947, 2017.
- [6] V. Gümüş, L. D. Dinsever, and O. Şimşek, "Diyarbakır istasyonunda 1929–2016 boyunca tarihsel kuraklığın yenilikçi şen yöntemi ile trend analizi," 2021.
- [7] Y. Avşaroğlu, V. Gümüş, O. Şimşek, L. D. Dinsever, and M. Kuş, "Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ndeki aylık toplam tava buharlaşma verilerinin Mann-Kendall Testi ve Yenilikçi Şen Yöntemi ile trend analizi," *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, vol. 11, no. 4, pp. 1059–1070, 2021.
- [8] O. M. Katipoğlu, S. N. Yeşilyurt, and H. Y. Dalkılıç, "Yeşilirmak havzasındaki hidrolojik kuraklıkların Mann-Kendall ve Yenilikçi Şen yöntemi ile trend analizi," *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, vol. 12, no. 2, pp. 422–442, 2022.
- [9] L. D. Dinsever, "Dicle havzasındaki meteorolojik kuraklık trendinin yenilikçi şen yöntemi ile belirlenmesi," Ph.D. dissertation, 2021.
- [10] M. E. Keskin and K. Saplıoğlu, "Türkiye'nin Doğu Anadolu Bölgesindeki Sıcaklık Eğilimlerinin Yenilikçi Trend Analizi ve Mann-Kendall ile Belirlenmesi," *Journal of Innovations in Civil Engineering and Technology*, vol. 5, no. 1, pp. 1–16, 2023.
- [11] T. Caloiero, "Evaluation of rainfall trends in the South Island of New Zealand through the innovative trend analysis (ITA)," *Theoretical and Applied Climatology*, vol. 139, no. 1, pp. 493–504, 2020.
- [12] J. Mallick, S. Talukdar, M. Alsubih, R. Salam, M. Ahmed, N.B. Kahla and M. Shamimuzzaman, "Analysing the trend of rainfall in Asir region of Saudi Arabia using the family of Mann-Kendall tests, innovative trend analysis, and detrended fluctuation analysis," *Theoretical and Applied Climatology*, vol. 143, pp. 823–841, 2021.
- [13] T. Caloiero, R. Coscarelli, and E. Ferrari, "Application of the innovative trend analysis method for the trend analysis of rainfall anomalies in southern Italy," *Water Resources Management*, vol. 32, pp. 4971–4983, 2018.
- [14] İ. Taşkolcu, "Güneydoğu Anadolu Bölgesi için kuraklık analizi," M.S. thesis, 2023.
- [15] Y. S. Güçlü, "Multiple Şen-innovative trend analyses and partial Mann-Kendall test," *Journal of Hydrology*, vol. 566, pp. 685–704, 2018.
- [16] Z. Şen, "Innovative Trend Significance Test and Applications," *Theoretical and Applied Climatology*, vol. 127, no. 3, pp. 939–947, 2015.
- [17] S. Tokgöz and T. Partal, "Karadeniz Bölgesinde yıllık yağış ve sıcaklık verilerinin yenilikçi şen ve mann-kendall yöntemleri ile trend analizi," *Journal of the Institute of Science and Technology*, vol. 10, no. 2, pp. 1107–1118, 2020.
- [18] T. Partal and E. Yavuz, "Orta Karadeniz ve Doğu Karadeniz Bölgesinde kuraklık indisleri üzerine trend analizi uygulanması," *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, vol. 11, no. 2, pp. 851–861, 2020.



Research Article

The Levels of Main Air Pollutant Parameters and Their Effects on Air Quality Index for Ardahan in the Period 2019 – 2023

Necla Barlık¹*, Röşen Guliyev¹, Mustafa Akgün²

¹ Department of Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Ardahan University, 75002, Ardahan, Türkiye

² Department of Occupational Health and Safety Program, Vocational School of Technical Sciences, Ardahan University, 75002, Ardahan, Türkiye

* Correspondence: neclabarlik@ardahan.edu.tr

Received: 16 May 2024; Accepted: 22 October 2024; Published: 31 December 2024

In this study, hourly and daily average HKI values of Ardahan city center were calculated for the 5-year period between 2019 and 2023. Hourly average AQI values were compared with the National AQI, and the levels of pollutant parameters (PM10, SO₂, NO₂, CO and O₃) taken as basis in calculating the AQI were compared with the national regulations. The average 24-hour PM10 concentration exceeded the 50 µg/m³ level specified in the regulations in 10.568 of the 41.466 hourly data recorded for at least 3 parameters at the same time, corresponding to approximately 25%. Hourly HKI averages calculated from the same data set, according to the National HKI evaluation criteria; 388 (0.01%) hours were in the “unhealthy” or “poor” category and 7.992 (19%) were in the “medium” or “delicate” category. PM10 24-hour average concentrations, with the highest values recorded between 28 and 31 December 2021, have the largest average daily values of 379 µg/m³ on 31 December 2021 and the largest average hourly values of 385 µg/m³ at 05:00 on the same date. has happened. The daily average maximum HKI value was calculated as 211 on 29.12.2021 and 214 at 07:00 on the same date. In addition, according to the impact analyzes carried out between AQI and pollution parameters, it was seen that the 24-hour average PM10 concentrations were the most important parameter affecting the air quality index, with a rate of 88.5%.

Keywords: AQI, air pollutants, PM10

Araştırma Makalesi

2019 – 2023 Döneminde Ardahan'da Başlıca Hava Kirletici Parametrelerinin Seviyeleri ve Hava Kalitesi İndeksine Etkileri

Öz: Bu çalışmada 2019 – 2023 yıllarını kapsayan 5 yıllık süre için Ardahan il merkezinin saatlik ve günlük ortalama HKİ değerleri hesaplanmıştır. Saatlik ortalama HKİ değerleri Ulusal HKİ ile ve HKİ'nin hesaplanmasında esas alınan kirletici parametrelerinin (PM10, SO₂, NO₂, CO ve O₃) düzeyleri, ulusal mevzuatla ile karşılaştırılmıştır. Aynı saatte en az 3 parametre için ölçüm kaydedilmiş 41.466 adet saatlik verinin yaklaşık %25'ine tekabül eden 10.568 adedinde ortalama 24 saatlik PM10 konsantrasyonu mevzuatta belirtilen 50 µg/m³ seviyesini aşmıştır. Aynı veri setinden hesaplanan saatlik HKİ ortalamaları, Ulusal HKİ değerlendirme ölçütlerine göre; 388 (%0,01) saat “sağlıksız” veya “kötü” ve 7.992 (%19) adet “orta” veya “hassas” kategoride yer almaktadır. 28 – 31 Aralık 2021 aralığında en yüksek değerleri kaydedilen PM10 24 saatlik ortalama konsantrasyonları, 31 Aralık 2021'de 379 µg/m³ olarak en büyük ortalama günlük ve aynı tarihte saat 05:00'de 385 µg/m³ olarak en büyük ortalama saatlik değerlere sahip olmuştur. Günlük ortalama maksimum HKİ değeri ise 29.12.2021 tarihinde 211 olarak aynı tarihte saat 07:00 için 214 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, HKİ ile kirlilik parametreleri arasında yürütülen etki analizlerine göre % 88,5'lük bir oranla ile 24 saatlik ortalama PM10 konsantrasyonlarının hava kalitesi indeksini etkileyen en önemli parametre olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: HKİ, hava kirleticiler, PM10

Citation: N. Barlık, R. Guliyev, and M. Akgün, “The Levels of Main Air Pollutant Parameters and Their Effects on Air Quality Index for Ardahan in the Period 2019 – 2023”, *Journal of Studies in Advanced Technologies*, vol. 2, no. 2, pp. 83-94, Dec 2024, doi: 10.63063/jsat.1485314

1. Giriş

Sanayi, ısınma ve trafik kaynaklı emisyonlar dış ortam hava kalitesini etkileyen en önemli antropojenik kaynaklardır. Hava kirliliği gelir düzeyinden bağımsız olarak tüm dünyada herkesi etkileyen en önemli çevre sorunlarından ve sağlığa yönelik en büyük küresel risklerden birisi olarak yılda yaklaşık 7 milyon önlenebilir ölüme neden olmaktadır [1].

Ortam hava kalitesinin izlenmesi ve değerlendirilmesi hava kirliliğini kontrol etmede ilk önemli adımdır. Büyük miktardaki izleme verisi, genellikle hava kalitesi hakkında politika yapıcılara, düzenleyicilere ve özellikle halka basit ve anlaşılır bir bilgi iletmez. Çevre kuruluşları, hava kirlleticilerinin sağlık etkileri ışığında hava kalitesi hakkında kamuoyunu bilgilendirmek ve veri yorumlamak için hava kalitesi endeksinin (HKİ) kullanmaktadır.

Hava Kalitesi İndeksi (HKİ); hava kalitesi düzeyinin, uyarı ve renk kategorilerine göre sınırları belirli bir ölçek içerisinde toplumla paylaşılması için geliştirilmiştir uluslararası bir yaklaşımdır. Tablo 1’de sunulan indekse göre; 0 – 500 aralığında bir ölçek, 6 uyarı ve renk kategorisine ayrılmış olarak ortalama hava kalitesi hakkında toplumu bilgilendirmeyi amaçlamaktadır [2], [3].

Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (US-EPA) tarafından benimsenen ilk indekslerden biri Kirlilik Standart İndeksi'ydi (PSI). Bu indeks 1999 yılında yine EPA tarafından, yer seviyesindeki ozon ve PM (partikül madde) emisyonu olmak üzere iki yeni alt indeks içeren Hava Kalitesi İndeksi (Air Pollution Index, AQI) ile değiştirilmiştir. HKİ kullanımıyla, kentsel alanlardaki başlıca kirleticilerin (PM10, SO₂, NO₂, O₃, CO) konsantrasyonlarını tek bir değer altında birleştirmek mümkün olmuştur [4].

Tablo 1. Hava Kalitesi İndeksi

İndeks	HKİ	Anlamı
	0 – 50	İyi
	51 – 100	Orta
	101 – 150	Hassas
	151 – 200	Sağlıksız
	201 – 300	Kötü
	301 – 500	Tehlikeli

Partikül madde (PM) terimi farklı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip ve havada asılı halde bulunan parçacıkların oluşturduğu hava kirleticilerini sınıflandırmak için kullanılır. Aerodinamik çapları 10 µm'nin altında olan partikül maddeler PM10 olarak sınıflandırılır. Şehir içi atmosferinde PM konsantrasyonlarındaki değişikliklerin, kardiyolojik ve kanser gibi sağlık sorunlarıyla önemli ölçüde ilişkili olduğu [5] bilinmektedir ve bu nedenle PM 10 ve PM 2,5 (solunabilir parçacıklar) ortam hava kalitesinin ölçülmesi ve izlenmesi açısından önemli göstergeler olup, mevzuat ve direktifler kapsamında sınır değerleri belirlenmiştir. Kömür dumanından kaynaklanan en önemli hava kirleticilerden birisi olarak SO₂, atmosferde ikincil PM'lerin oluşumuna da katkıda bulunur. SO₂ özellikle sistemik inflamasyon ve oksidatif stres yoluyla insan sağlığını olumsuz yönde etkileyebilmektedir [6]. NO₂, antropojenik olarak fosil yakıtların yanması ve araç egzoz emisyonlarından kaynaklanan önemli bir atmosferik kirleticidir. Ancak toprak emisyonları, biyokütleli doğal yanması ve yıldırımlar da önemli ölçüde NO₂ emisyonuna neden olabilen doğal kaynaklar olarak düşünülür. Solunum yoluyla alınan NO₂'nin uzun süreli etkisi altında akciğer fonksiyonlarını ve solunum sistemini tehdit edebileceği ve üst solunum yollarını uyararak şok semptomlarına neden olabileceği belirtilmektedir [7]. Bunun yanında SO₂ ile birlikte asit birikimine neden olan en önemli gazlardan birisi olarak NO₂, atmosferde fotokimyasal sis ve O₃ (ozon) oluşum süreçlerini de tetikleyen gazlardan birisidir. İkincil bir kirleticisi olarak O₃, atmosferde NO₂, NO_x ve uçucu organiklerin (VOC) fotokimyasal reaksiyon ürünüdür. Yer seviyesi ozon kirliliği oluşumunda birincil etkiye sahip emisyonlar trafik kaynaklıdır ancak enerji santrallerinden kaynaklanan NO_x emisyonları ve uçucu organik emisyonların olduğu akaryakıt istasyonları O₃ kirliliğinde ilk akla gelen kirlilik kaynaklarıdır [8]. Yüksek ozon konsantrasyonlarına uzun süreli maruz kalmanın, insan kardiyopulmoner fonksiyonunun bozulmasına ve solunum yolu hastalıklarının görülme sıklığının artmasına, eozinofilik hava yolu inflamasyonuna yol açarak solunum patojenlerine veya alerjenlere karşı duyarlılığa veya alerjeniteye neden olabileceği belirtilmiştir [9]. Öte yandan bir eksik yanma ürünü

olarak CO'in hem doku hipoksisine hem de çeşitli mekanizmalar yoluyla immünolojik veya inflamatuvar hasarı içeren doğrudan hücresel değişikliklere neden olduğu bilinmektedir [10].

Hava kalitesi indeksinin tahmini, meteorolojik ve topoğrafik parametrelerle korelasyonu birçok araştırmacı tarafından ele alınmıştır. Pekin için yürütülen bir çalışmada Çin hava kirliliği indeksi ile hava kalitesi indeksi, uydu görüntülerinden sağlanan aerosol verileri ile karşılaştırılmış ve hava kalitesi indeksinin ortam hava kalitesini tanımlamada daha sağlıklı sonuçlar ürettiği tespit edilmiştir [11]. Çin'de yürütülen bir başka bir çalışmada Yangtze Nehri Deltası'ndaki hava kalitesinin mekânsal ve zamansal analizi ve meteorolojik faktörlerle ilişkisi hava kalitesi indeksi üzerinden tartışılmıştır. Araştırmacılar çalışmalarında hava kalitesi indeksi ile mekânsal ve zamansal değişkenler arasındaki ilişkiyi ARIMA ve çoklu lineer regresyon modelleriyle araştırmışlar ve ARIMA'nın çoklu lineer regresyondan daha doğru sonuçlar ürettiğini bildirmişlerdir [12]. Meteorolojik parametrelerle hava kalitesi indeksi arasındaki ilişkiyi modelleyen çalışmalarda indeksin meteorolojik parametrelere bağlı olarak değiştiğini bildirmektedir [13], [14]. Marmara Bölgesi'nde hava kalitesi indeksleri kullanılarak hava kalitesini etkileyen faktörlerin belirlendiği bir diğer çalışmada NO₂ ve O₃ konsantrasyon düzeylerinin antropolojik etkilerden, PM kirliliğinin zamansal ve mekansal faktörlerden daha çok etkilendiği belirtilmektedir [15]. Ardahan, Kars, Erzurum ve Iğdır için yürütülen bir diğer çalışmada hava kalitesi indeksleri rastgele orman algoritması ile %74,89 doğruluk oranında tahmin edilmiştir [3]. Çerkezköy organize sanayi bölgesinde hava kirlenici parametrelerinin hava kalitesi indeksine etkilerinin ele alındığı bir araştırmada çalışma döneminde hava kalitesinin orta ve iyi düzeyde seyretti belirtilmiştir [16]. COVID – 19 pandemisi döneminde Dakka'da hava kalitesi indeksi ile COVID-19 kaynaklı ölümler arasındaki ilişkinin incelendiği bir araştırmada değişkenler arasında Kendall ve Spearman korelasyonları yürütülmüş ve anlamlı korelasyonlar bulunduğu bildirilmiştir [17].

Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı bünyesinde Türkiye geneline kurulmuş olan Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı'na bağlı istasyonlarından sağlanan kirlenici konsantrasyonları Ulusal HKİ değerlerine dönüştürülmekte ve gerçek zamanlı olarak çevrimiçi yayınlanmaktadır [18]. Ardahan gibi sanayileşmemiş ve uzun kış mevsimlerinin yaşandığı bölgelerde yılın büyük bir bölümünde dış ortam hava kalitesi, ısınma amacıyla kullanılan fosil yakıt emisyonlarından ve ayrıca trafik kaynaklı emisyonlardan güçlü bir şekilde etkilenir. İlde uzun kış mevsimi boyunca konutların ve diğer binaların ısıtılmasında yaygın olarak kömür ve doğal gaz kullanılmaktadır. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğü tarafından hazırlanan 2020 yılı Çevre Durum Raporu'na göre yıl içerisinde ısınma amaçlı olarak yaklaşık 10.044 ton katı yakıt ve 17.482 536 m³ doğal gaz kullanılmıştır ve aynı yıl ilde trafiğe kayıtlı araç sayısı 19.317'dir [19]. Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı'na veri beslemesi, şehir merkezinde bulunan 1 adet hava kalitesi ölçüm istasyonu ile gerçekleştirilmektedir. İstasyonda PM10, SO₂, NO₂, NO_x ve O₃ takibi yapılmakta gerçek zamanlı olarak ulusal hava kalitesi indeks (HKİ)'ne dönüştürülerek Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı üzerinden çevrimiçi paylaşılmaktadır.

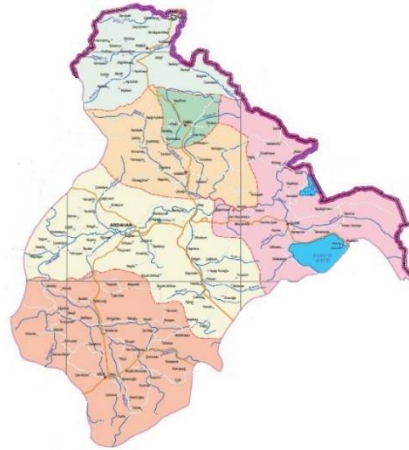
Bu çalışma; 2019 – 2023 yıllarını kapsayan periyotta Ardahan şehir merkezinde HKİ ve indeksin hesaplanmasında kullanılan PM10, SO₂, NO₂, O₃ ve CO gibi kirlilik parametrelerinin etki analizlerini yapmayı ve sonuçların değerlendirilmesini amaçlamaktadır. İncelenen periyot için bu kirlenici parametrelerin konsantrasyon düzeylerinin dağılımları ve indeks değerleri Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği (HKDYY) [20] ile karşılaştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Çalışma Alanı

Anadolu'nun kuzeydoğusunda yer alan Ardahan İli (Şekil 1), 42,70° doğu boylamları ile 41,11° kuzey enlemleri arasında kuzeydoğuda Gürcistan ve Ermenistan, güney ve güneydoğuda Kars, güneybatıda Erzurum ve batıda Artvin ile çevrilidir. İl alanı ana hatlarıyla 1800 – 2100 m rakımlarda yer alan dalgalı yapıya sahip bir plato görünümündedir. Bölgenin rakımının yüksek olması ve yüzey şekillerinin değişkenliği nedeniyle il genelinde karasal iklim hakimdir. Kışlar uzun, sert ve karlıdır. Köppen-Geiger iklim sınıflandırmasına göre Ardahan ilinin tamamı Dfb harfleriyle gösterilen, kışların soğuk, yazın sıcak, her mevsim yağışlı olduğu orta enlem iklim tipine dahildir [21]. Deniz seviyesinden yüksekliği yaklaşık 1829 m ve denizden karayoluyla uzaklığı ise yaklaşık 211 km olan ilde; Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne bağlı il istasyonunun kayıtlarına göre yıllık ortalama sıcaklık 3,7 °C'dir. İl genelinde yağışlar kışın kar, yılın diğer mevsimlerinde yağmur olmak üzere her mevsim görülse de en fazla yağış nisan, mayıs ve haziran aylarında görülmektedir. Kış sezonu

genellikle ekim ayı sonlarında başlar ve nisan ayı sonuna kadar devam eder. Bulutluluk ve kapalı gün sayısının fazla olması; ilde iklimin genel olarak serin olmasının en önemli nedenlerinden birisi olarak değerlendirilir [22].



Şekil 1. Ardahan il haritası [23]

2.2. Veri

1 Ocak 2019 ile 31 Aralık 2023 tarih aralığını kapsayan 5 yıllık dönem için saatlik ortalama kirletici konsantrasyonları Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı'nın Ardahan şehir merkezinde bulunan ölçüm istasyonu kayıtlarından çevrimiçi olarak sağlanmıştır [18]. Bu çalışma için aynı zamanda hava kalitesi indeksinin de hesaplanmasında esas alınan PM10, SO₂, NO₂ ve O₃ başlıca hava kirliliği parametreleri olarak seçilmiştir. HKİ'nin hesaplanmasında esas alınan ancak şehirdeki Ulusal Hava Kalitesi İzleme istasyonunda takibi yapılmadığından CO, değerlendirmeye dahil edilmemiştir.

2.3. Yöntem

Ulusal Hava Kalitesi İndeksi, EPA Hava Kalitesi İndeksi'nin ulusal mevzuatımıza ve sınır değerlerimize uyarlanması ile oluşturulmuştur. İndeksin hesaplanmasında PM10, SO₂, NO₂, CO ve O₃ dan oluşan 5 temel kirletici parametre dikkate alınmaktadır ve herhangi bir zaman dilimi için indeks hesaplanırken kirletici parametrelerin en az %75'inin (3 parametre) ölçülmüş olması ön koşulu aranmaktadır [24]. Bu çalışmada HKİ; CO hariç gerekli parametrelerin %80'ine tekabül eden 4 parametre üzerinden hesaplanmıştır.

Gerek kirletici parametre düzeylerinin kendi içinde değerlendirilebilmesi gerekse hava kalitesi indeksinin hesaplanabilmesi için µg/m³ cinsinden olmak üzere PM10 için 24 saatlik, SO₂ ve NO₂ için saatlik ve O₃ için 8 saatlik ortalama konsantrasyon değerleri kullanılmalıdır [24], [25]. Bu nedenle Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı veri tabanından sağlanan saatlik ortalama konsantrasyon düzeyleri öncelikle PM10, SO₂ ve NO₂ için tam sayıya, O₃ için üç basamaklı ondalık kesirli sayıya kırılarak düzenlenmiş ardından PM10 için 24 saatlik ve O₃ için 8 saatlik kayan ortalama değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca, 24 saatlik PM10, saatlik SO₂ ve NO₂ ve 8 saatlik O₃ ortalama konsantrasyon düzeyleri günlük ortalama konsantrasyon düzeylerine dönüştürülmüştür.

2.4. Hava Kalitesi İndeksi

Ulusal Hava Kalitesi İndeksi'nin belirlenmesinde referans alınan EPA Hava Kalitesi İndeksi Denklem [1] olarak aşağıda verilen eşitlikle hesaplanmaktadır. Buna göre her bir kirletici parametre için ayrı ayrı kesme noktaları dikkate alınarak bir parametre indeksi (I_p) tanımlanmaktadır. Kirletici parametre indeksleri arasındaki maksimum değer, HKİ değeri (Denklem [2]) olarak kabul edilmektedir [25].

$$I_p = [(I_{Hi} - I_{Lo}) / (BP_{Hi} - BP_{Lo})] (C_p - BP_{Lo}) + I_{Lo} \quad (1)$$

$$HKI = \max (I_{PM10}, I_{SO_2}, I_{NO_2}, I_{CO}, I_{O_3}) \quad (2)$$

Burada, I_p ; p kirleticisi için indeks, C_p ; p kirleticisi için kırılmış ortalama konsantrasyon, BP_{Hi} ; C_p ' ye eşit veya büyük kesme noktası konsantrasyonu, BP_{Lo} ; C_p ' ye eşit veya küçük kesme noktası konsantrasyonu, I_{Hi} ve I_{Lo} ; sırasıyla BP_{Hi} ve BP_{Lo} 'ye karşılık gelen HKİ değerleridir.

Hesaplamalar için gereken kesme noktası konsantrasyonları ve bunlara karşılık gelen indeks değerleri Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'na bağlı Hava Kalitesi İzleme Sistemi'nin internet sitesinden alınmıştır [24].

3. Bulgular ve Tartışma

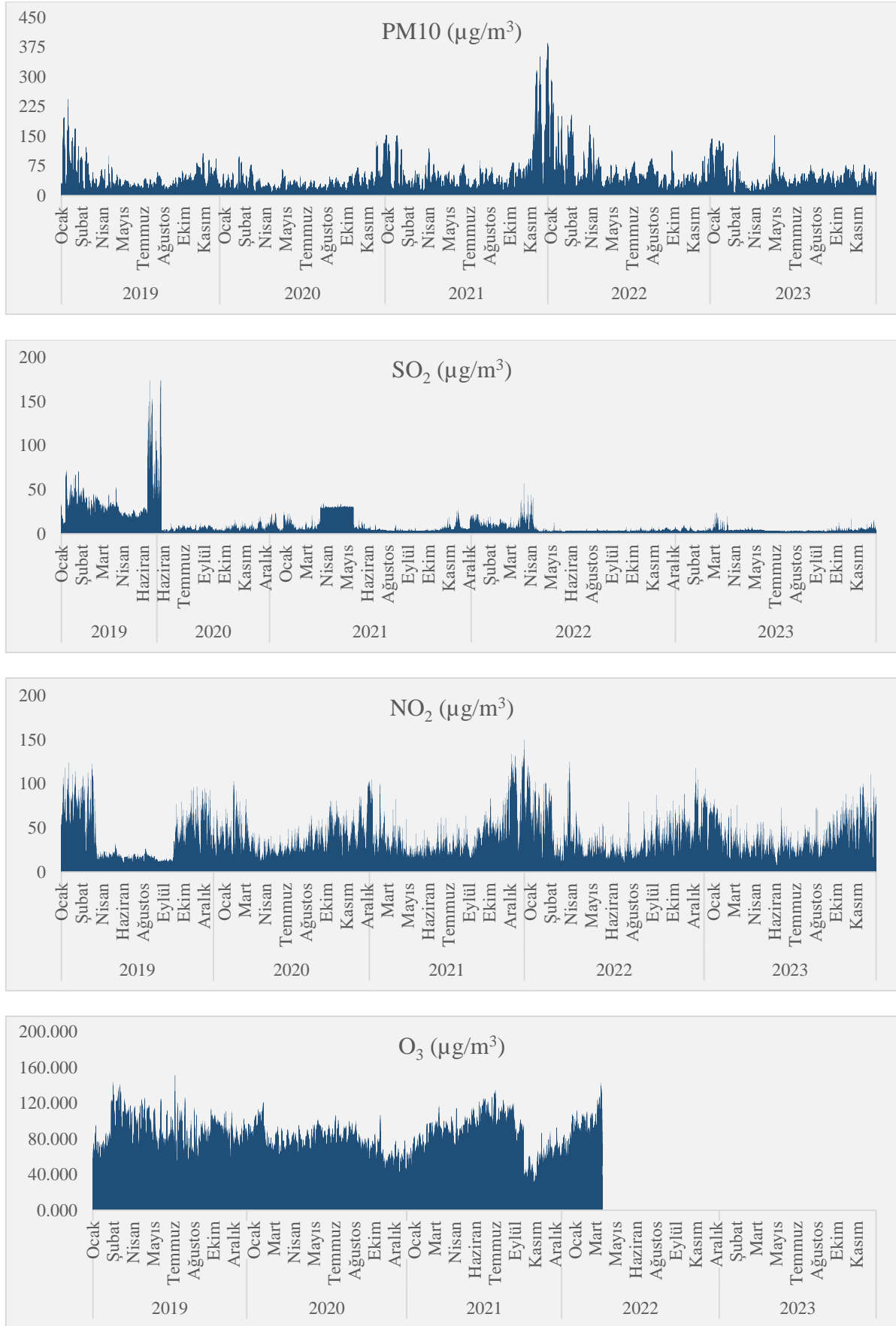
Ele alınan periyotta kirletici parametrelerinin her birisi için toplam 43 824 adet olması gereken saatlik verinin PM10 için %97, SO₂ için %79, NO₂ için %89 ve O₃ için %97'lik oranları elde edilebilmiştir. SO₂ hariç diğer parametrelerde minimum %90 veriye yakın veya üzerinde oranlar sağlanabilmiştir.

3.1. Hava Kirletici Parametreler

SO₂ ve NO₂ için saatlik ortalama düzeyler, PM10 için 24 saatlik ve O₃ için 8 saatlik kayan ortalama değerler zaman serileri olarak Şekil 2'de sunulmaktadır. Özellikle fosil kökenli yakıtların kullanılmasından kaynaklanan 24 saatlik ortalama PM10 ve NO₂ emisyonlarının kışın en sert geçtiği ve maksimum ısınma ihtiyacının doğduğu Kasım – Mart arasında pik değerlerine ulaştığı görülmektedir. Kasım 2021 – Mart 2022 döneminde her iki kirleticinin de konsantrasyon değerleri 5 yıllık çalışma aralığının en yüksek düzeylerinde seyretmektedir. PM10, 31 Aralık 2021 tarihinde saatlik ortalama 385 µg/m³ ve günlük ortalama 379 µg/m³'lük düzeyleri ile çalışma aralığındaki maksimumuna ulaşmıştır. Yine 31 Aralık 2021 tarihinde NO₂, 150 µg/m³ olarak 5 yıllık periyodun en yüksek saatlik ortalama konsantrasyonuna sahiptir. 24 saatlik PM10 konsantrasyonları için yönetmelik 1 yıl içerisinde en fazla 35 kez 50 µg/m³ değerini aşmasına, yıllık ortalama konsantrasyonun da maksimum 40 µg/m³ olmasına müsaade etmektedir. Tablo 2'de kirletici parametrelerinin HKDYY'ne göre değerlendirme sonuçlarında da verildiği gibi PM10 düzeylerinin çalışma periyodundaki her yıl ama en çok da 2021 yılında 2732 kez ve 2022 yılında 2992 kez olmak üzere 50 µg/m³'lük limit değeri 35'den çok daha fazla sayıda aştığı görülmektedir. Aynı yılların ortalama yıllık PM10 konsantrasyon düzeyleri de sırasıyla 55 ve 53 olarak yine yönetmelikle belirlenen 40 µg/m³ limit değerinin üzerindedir. NO₂ düzeyleri, ulusal mevzuatla belirlenen saatlik ortalama 200 µg/m³ limitini aşmadığı yine yıllık ortalama da 40 µg/m³'lük limit değerinin altında kaldığı görülmektedir.

Bu çalışmada ele alınan kirletici parametreler için ulusal mevzuattaki limit değerler Avrupa Çevre Ajansı (European Environment Agency, EEA) tarafından izlenen mevzuatla [26] uyumludur. Ancak Dünya Sağlık Örgütü (World Health Organization, WHO) Covid – 19 pandemisinden sonra güncellediği düzenlemelerinde bu limitleri daha aşağılara çekmeyi önermektedir [27]. Buna göre PM10 24 saatlik ortalama konsantrasyonlarının 45 µg/m³'ü en fazla 3 – 4 kez aşması, yıllık ortalama 15 µg/m³ limit değerini aşmaması önerilmektedir. Benzer şekilde; NO₂ için 24 saatlik ortalama konsantrasyon düzeyinin 25 µg/m³ değerini en fazla 3 – 4 kez aşması ve yıllık ortalama düzeyin 10 µg/m³ ile sınırlandırılması gerektiği belirtilmektedir.

Ulusal Hava İzleme Ağı üzerinden sağlanan SO₂ verilerinde en fazla veri kaybı 2019 ve 2020 yıllarının kayıtlarından kaynaklanmaktadır. Sağlanan veriler kapsamında 31 Aralık 2019 ve 8 Ocak 2020 tarihlerinde 174 µg/m³'lük saatlik ortalama ile maksimum değerlere ulaştığı, diğer yıllarda 24 – 57 arasında maksimum değerler sergiledi belirlenmiştir. Şekil 2'de saatlik ortalama SO₂ konsantrasyon düzeylerinin grafik aktarımında 2019 yılından sonra kirletici konsantrasyonunda önemli bir azalmanın kaydedildiği görülmektedir.



Şekil 2. 2019 – 2023 yılları arasında kaydedilen ortalama 24 saatlik PM10, saatlik SO₂ ve NO₂ ve 8 saatlik O₃ konsantrasyonları için zaman serileri

HKDY Yönetmeliği ile belirlenen limit değerler açısından da incelenen periyotta 2019 yılı ortalama konsantrasyon düzeyinin $24 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ile mevzuat limit değerlerini aştığı bunun dışında kalan tüm düzeylerde limit değerlerin altında kaldığı görülmektedir.

Tablo 2. 2019 – 2023 periyodunda kirletici parametrelerinin HKDYY'ne göre değerlendirme sonuçları

HKDYY'ne göre kirleticilerin limit değerleri				Çalışma dönemi için hesaplan değerler (adet)				
	Ortalama süre	Limit değer	Açıklama	2019	2020	2021	2022	2023
PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24 saat	50	35 kez/yıl aşılamaz	1727	904	2732	2992	2213
	Yıllık	40		40	30	55	53	40
SO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1 saat	350	24 kez /yıl aşılamaz	-	-	-	-	-
	24 saat	125	3 kez/yıl aşılamaz	-	-	-	-	-
	Yıllık	20		24	5	9	4	3
NO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1 saat	200	18 kez/yıl aşılamaz	-	-	-	-	-
	Yıllık	40		23	22	24	22	21
O ₃ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	8 saat	120	25 gün/3 yıl aşılamaz*	-	-	-	-	-

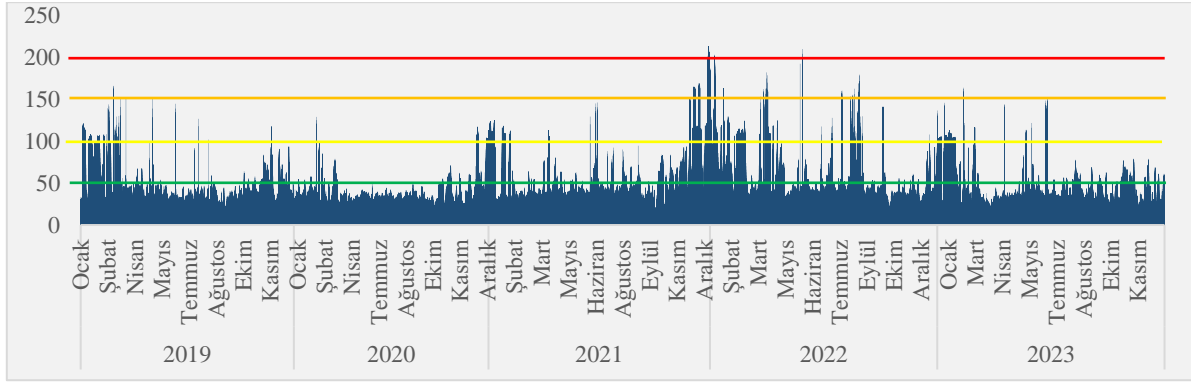
*Üç yıllık ortalamalar dikkate alınır ve verilerin, takip eden üç yıl sonunda uyumluluğun hesaplamasında kullanılacağı ilk yıl 2022'dir

2017 – 2019 yılları arasında Ardahan hava kalitesi indeksi ile meteorolojik parametreler arasındaki ilişkinin incelendiği çalışmamızda [28] 2018 yılı sonundan itibaren O₃ konsantrasyon düzeylerinin çarpıcı bir artış sergilediği belirtilmiştir. Şekil 2' verilen 8 saatlik ortalama O₃ konsantrasyon profilinden çalışma periyodunun önemli bir bölümünde kirletici düzeyinin $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ değerine yaklaştığı veya aştığı görülebilmektedir. Bu periyotta en yüksek saatlik ortalama konsantrasyon değeri 27 Haziran 2023 tarihinde $178 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak kaydedilmiştir. Aynı tarihte 8 saatlik ortalama konsantrasyonu $157 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'tür. Ulusal mevzuat; 2022 yılından sonra geçerli olmak üzere 8 saatlik ortalama konsantrasyon düzeylerinin 3 yıllık ortalama $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ limit değerini 25 günden fazla aşmamasını, eğer üç yıllık ortalamalar belirlenemiyorsa yıllık verilerin ardışık ve tam seti bazında bilgi eşiği olarak 1 saatlik ortalamanın $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olmasını istemektedir. Buna göre çalışma periyodu içerisinde Ardahan'da kaydedilen O₃ konsantrasyon düzeyleri mevzuatın belirlediği bilgi eşiği değerinin altında kalmaktadır. WHO ise 8 saatlik ortalama konsantrasyon için $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ limit değerinin 1 yılda en fazla 3 – 4 kez aşılmasını önermektedir ki incelenen periyotta 32 gün bu hedef değerinin aşıldığı belirlenmiştir.

3.2. Hava Kalitesi İndeksi

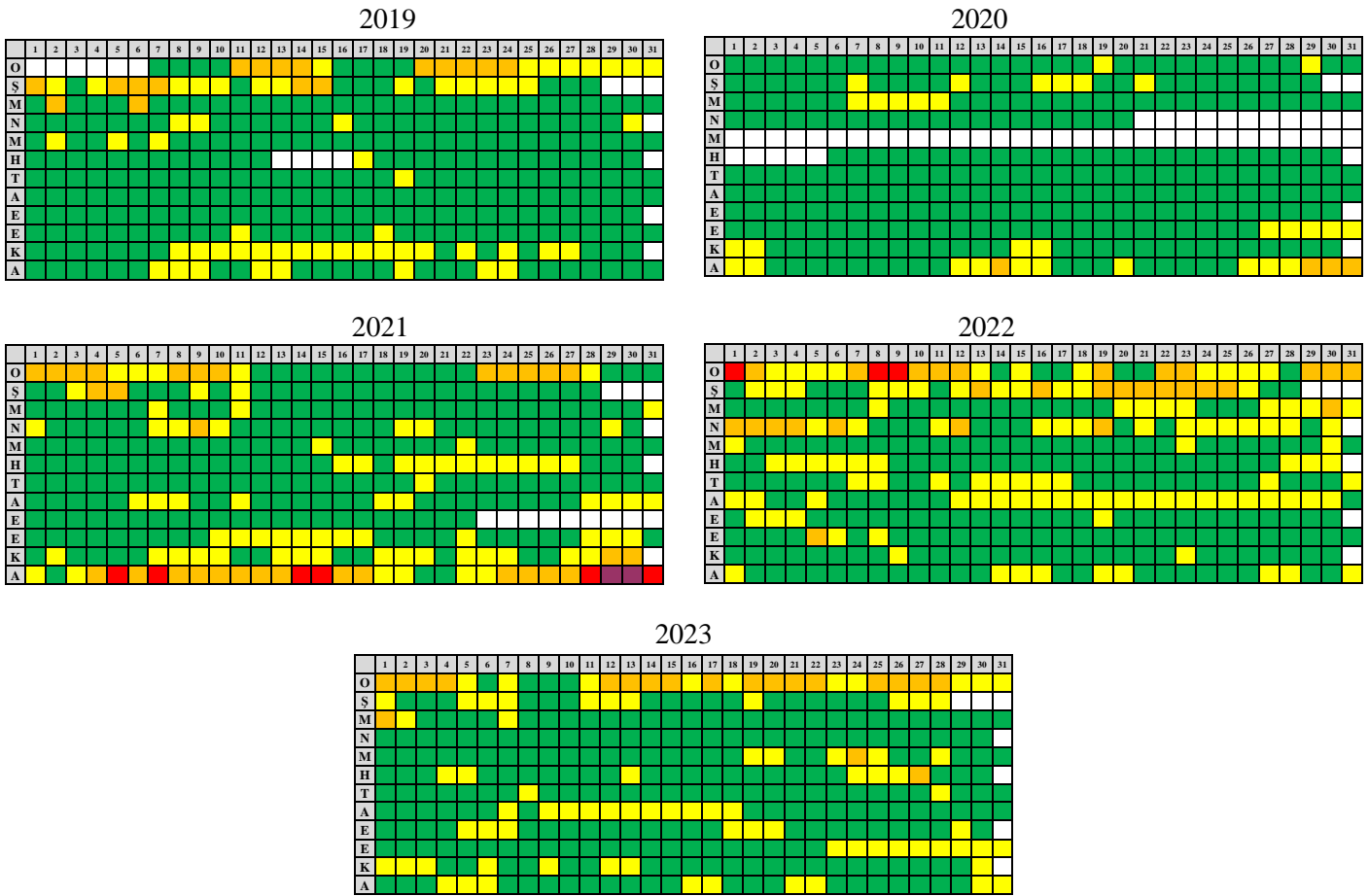
İncelenen 5 yıllık periyod için Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı üzerinden sağlanan saatlik ortalama kirletici konsantrasyonları PM10, SO₂ ve NO₂ için tamsayıya O₃ için ağdan sağlanan şekliyle ondalık değerlerinde 2 basamaklı sayılara kırpılmıştır. PM10 ve O₃ için sırasıyla 24 saatlik ve 8 saatlik ortalama konsantrasyonları hesaplanmış ve SO₂ ve NO₂ için tamsayıya kırpılmış saatlik ortalama konsantrasyonları birlikte Denklem 1 ve 2 kullanılarak saatlik HKİ değerlerine dönüştürülmüştür. Herhangi bir saat için indeks değerinin belirlenebilmesi için en az 3 parametre indeksinin hesaplanmış olması, dolayısıyla o saat için verilerin en az %75'inin mevcut olması şartı arandığından toplam 41 415 adet saatlik HKİ değeri hesaplanmıştır.

Şekil 3'te saatlik HKİ değerlerinin zamansal dağılımı ve ulusal HKİ'ne göre kesme noktaları indeks renk kodlarına uygun olarak çizilmiş şekilde sunulmuştur. Grafiğe göre saatlik ortalama HKİ değerleri 2021 – 2022 yıllarında en yüksek düzeylerini göstermektedir ve 29 Aralık 2021 tarihinde 214 maksimum değerine sahip olduğu belirlenmiştir. Ulusal indekse göre 151 – 200 aralığına düşen kırmızı kategorideki ve 201 – 300 aralığına düşen pembe kategorideki indeks düzeylerinin tamamı da yine bu yıllarda izlenmiştir.



Şekil 3. 2019 – 2023 yılları arasında saatlik ortalama HKİ değerleri ve renk kodlarına göre sınırları

Şekil 4'te hesaplanan saatlik ortalama HKİ değerleri günlük ortalama değerlere dönüştürülmüş ve 2019 – 2023 yılları için ayrı ayrı indeks renk kodlarına göre yıllık dağılımları çizilmiştir.



Şekil 4. 2019 – 2023 yılları günlük ortalama HKİ değerlerinin indeks kategori renklerine göre dağılımları (Diyagramların sağ sütunlarında ay isimleri baş harfleri ile kodlanmıştır)

Tablo 1'de verilen ulusal HKİ'ne göre; saatlik ortalama HKİ değerlerinin %74,05'inin yeşil kategoride "iyi", %19,30'unun sarı kategoride "orta", %5,84'sinin turuncu kategoride "hassas", %0,8'inin kırmızı kategoride "sağlıksız" ve %0,02'sinin pembe kategoride "kötü" hava kalitesi koşullarına işaret ettiği belirlenmiştir. Aralık 2021 ve Ocak 2022 dönemlerinde günlük ortalama HKİ düzeylerinin kırmızı ve pembe kategorilerde yer aldığı günler görülebilmektedir. 2020 yılı nisan ve haziran ayları arasındaki yaklaşık 45 günlük süre için HKİ indeksinin hesaplanmasına yetecek sayıda veri sağlanamamıştır. Daha az sayıda olmak üzere diğer yıllara ait diyagramlarda da beyaz bölgeler yeterli verinin sağlanamadığı günleri göstermektedir.

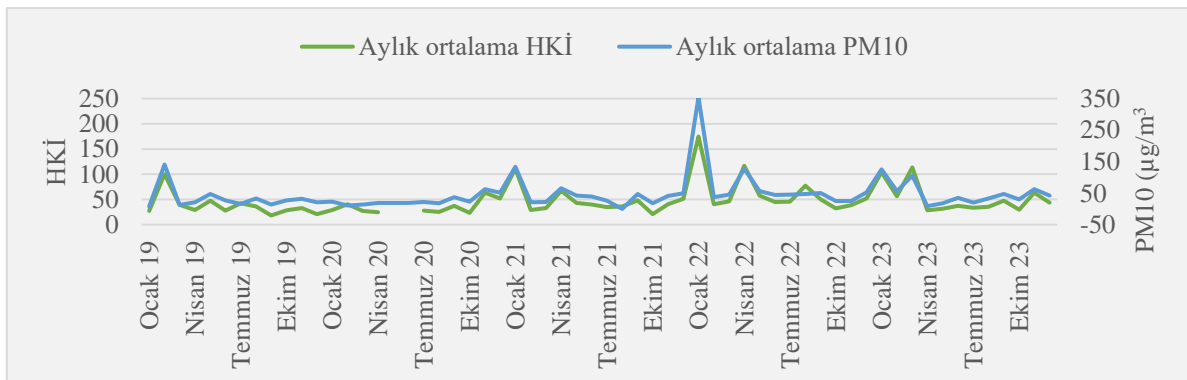
2019 – 2023 yılları arasında ilde izlenen hava kalitesi indeksinin fonksiyonu olduğu kirletici parametrelerle değişimi de incelenmiştir. Bu amaçla HKİ ile kirletici parametrelerinin ortalama konsantrasyonu ve parametre indeksleri arasında lineer regresyon analizi yürütülmüştür. Tablo 3'te verilen

analiz sonuçlarına göre indeks değerleri, PM10'un 24 saatlik ortalama konsantrasyonları ve parametre indeksleri ile sırasıyla 0,885 ve 0,873'lük regresyon katsayılarıyla en güçlü lineer ilişkiye sahiptir. Parametre indekslerine göre NO₂ ikinci ve O₃ üçüncü büyük regresyon katsayılarına sahip olmuşlardır. SO₂, 0,010 düzeyindeki regresyon katsayısı ile HKİ değerleriyle en zayıf lineer ilişkiyi sergilemiştir.

Tablo 3. 2019 – 2023 döneminde kirlilik parametrelerinin ortalama konsantrasyonlarının ve alt indekslerinin ile HKİ üzerine etki analizi sonuçları

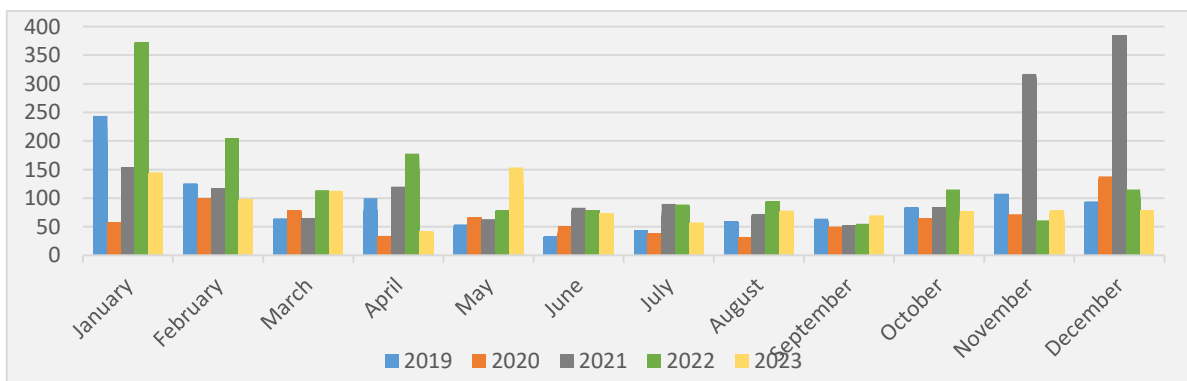
PM10			SO ₂		
HKİ	Saatlik ortalama (µg/m ³)	$r^2=0,873$	HKİ	Saatlik ortalama (µg/m ³)	$r^2=0,010$
	24 Saatlik ortalama (µg/m ³)	$r^2=0,526$		8 Saatlik ortalama (µg/m ³)	$r^2=0,009$
		$r^2=0,885$			
NO ₂			O ₃		
HKİ	Saatlik ortalama (µg/m ³)	$r^2=0,243$	HKİ	Saatlik ortalama (µg/m ³)	$r^2=0,023$
		$r^2=0,241$		8 Saatlik ortalama (µg/m ³)	$r^2=0,001$
					$r^2=0,001$

2019 – 2023 periyodunda 24 saatlik ortalama PM10 konsantrasyonları ile saatlik HKİ değerlerinin aylık ortalamaları arasında Şekil 5 ile verilen grafikteki uyumlu salınımlar, regresyon analizi sonuçlarında indeks düzeyleri ile PM10 değerleri arasında görülen yüksek katsayının bir sonucu olarak düşünülebilir.



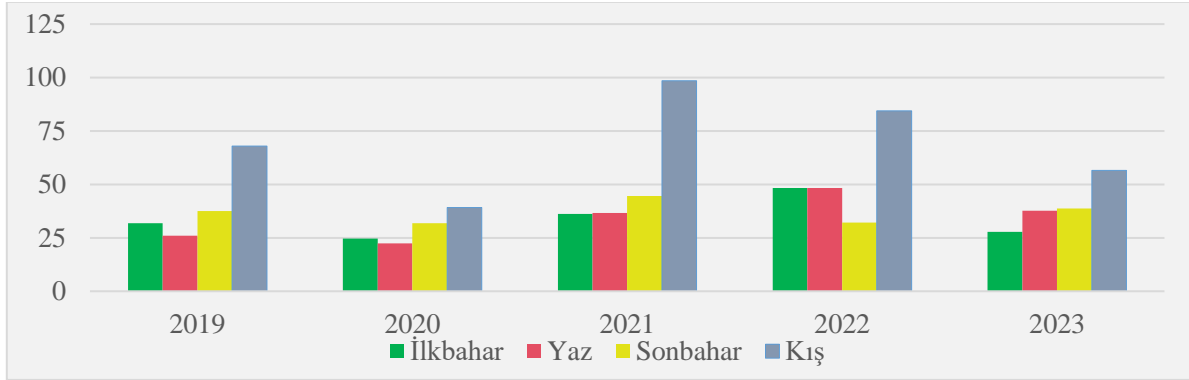
Şekil 5. 2019 – 2023 yılları ortalama HKİ değerleri ile 24 saatlik ortalama PM10 konsantrasyonlarının aylık bazda karşılaştırılması

Regresyon analizi sonuçları ve esasen bu sonuçların bir doğrulaması gibi görülebilecek Şekil 5 ile verilen grafiğe göre; çalışma periyodunda Ardahan'da ki hava kalitesini belirleyen en önemli parametrenin PM10 olduğu düşünülebilir. 2019 – 2023 yılları arasında Ardahan'daki 24 saatlik ortalama PM10 konsantrasyonlarının aylık ve mevsimlik ortalamaları sırasıyla Şekil 6 ve 7'de birer sütun grafik olarak sunulmuştur.



Şekil 6. 2019 – 2023 yılları arasında 24 saatlik ortalama PM10 konsantrasyonlarının aylık ortalamaya göre dağılımı.

Bu iki grafik birlikte değerlendirildiğinde çalışma periyodu içerisinde PM10 kirliliğinin 2020 yılının genelinde nispeten daha düşük olduğu 2021 ve 2022 yıllarında daha yüksek düzeylerde seyrettiği açıkça görülmektedir. Sadece 2020 yılı kış mevsiminde (Aralık, Ocak ve Şubat) ortalama mevsimlik PM10 düzeyleri $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'lük kritik eşiğın altında kalmıştır. Aylık ortalamalara göre; ildeki Ekim – Mayıs arasını kapsayan ısınma periyodundaki tüm aylarda PM10 düzeyleri $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ değerinin (2020 ve 2023 Nisan hariç) üzerindedir. 2021 yılı Kasım ve Aralık ayları ile 2022 yılı Ocak ayını kapsayan dönem PM10 düzeyleri aylık ortalamalarda zirve değerlerine ulaşmıştır.



Şekil 7. 2019 – 2023 yılları arasında 24 saatlik ortalama PM10 konsantrasyonlarının mevsimsel ortalamaya göre dağılımı.

4. Sonuçlar

1 Ocak 2019 ile 31 Aralık 2023 periyodunda Ardahan'daki başlıca hava kirleticiler, HKİ ve kirleticiler parametrelerinin her birinin ayrı ayrı indekse etkisi incelenmiştir. Periyotta kaydedilen kirleticiler düzeyleri ulusal ve uluslararası mevzuatla karşılaştırılmış, kirleticiler parametrelerinin saatlik ortalama konsantrasyonlarından saatlik HKİ değerleri hesaplanmış ve HKİ ile parametreler arasında lineer regresyon analizi yürütülmüştür. Buna göre;

- PM10, incelenen periyotta ulusal mevzuatla belirlenen limit değerleri en fazla aşan kirleticiler parametresi olmuştur. 2020 yılında 904 kez ve 2022 yılında 2992 kez 24 saatlik ortalama PM10 konsantrasyonu $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'lük limit değeri aşmıştır. Aylık ve mevsimsel değişimler, PM10 düzeylerinin uzun geçen ısınma periyotlarında meteorolojik faktörlerden oldukça etkilendiğini söylenebilir.
- İnceleme periyodu için veri tabanında en fazla veri kaybı SO_2 için olmakla birlikte sağlanan veriler üzerinden 2019 yılından sonra konsantrasyon düzeylerinin anlamlı bir şekilde azaldığı söylenebilir.
- NO_2 düzeyleri yıllık ortalama $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'lük limit değeri her yıl ortalama 21 – 23 kez aşmıştır.
- Öncesine kıyasla 2019 yılından itibaren O_3 konsantrasyonlarında dramatik bir artış görülmektedir. Ulusal mevzuatın uyguladığı 8 saatlik ortalama konsantrasyon için limit $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ düzeyi 2022 yılından itibaren geçerli olacağından mevzuatla karşılaştırılamamıştır ancak DSÖ'nün tavsiye ettiği $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'lük limit değeri birçok kez aşmıştır. Şehirdeki ozon konsantrasyonlarında izlenen artışın tek başına bir araştırma konusu olarak araştırılması gerektiği düşünülmektedir.
- PM10, SO_2 , NO_2 ve O_3 kirleticilerinin düzeylerine bağlı olarak çalışma aralığı için hesaplanan saatlik ve günlük ortalama HKİ değerlerinin büyük bir oranı yeşil veya sarı renk koduna yani “iyi” veya “orta” düzeylere tekabül etmektedir.
- Hava kalitesi indeksi yaklaşık 0,89'luk bir regresyon katsayısı ile en fazla 24 saatlik ortalama PM10 düzeylerinden etkilenmektedir.

CO , şehirde yerleşik bulunan hava kirliliği izleme istasyonunda takip edilmemektedir. HKİ'nin hesaplanmasında temel alınan parametrelerden birisi olarak; CO 'in eksik yanma ürünü bir gaz olduğu ve şehirde uzun ısınma periyotlarına ihtiyaç duyulduğu da göz önünde bulundurulduğunda bu çalışma da dahil şehrin hava kalitesi üzerine yapılan değerlendirmelerin eksik kalacağı söylenebilir.

Yazar Katkı Oranı

Metodoloji, N.B. ve R.G; yazılım, R.G ve M.A; validasyon, N.B. ve M.A; araştırma, N.B ve R.G; yazım ve düzenleme; M.A grafik ve tasarım. Tüm yazarlar makalenin yayınlanan versiyonunu okumuş ve kabul etmiştir.

Destek ve Teşekkür

Bu araştırmanın yürütülmesi sürecinde herhangi bir destek alınmamıştır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Kaynakça

- [1] DSÖ, "Health, environment and climate change," 18 Nisan 2019. [Online]. Available: https://apps.who.int/gb/ebwha/pdf_files/WHA72/A72_15-en.pdf?ua=1. [Accessed: Jun. 11, 2024].
- [2] Suman, "Air quality indices: A review of methods to interpret air quality status," *Materials Today: Proceedings*, vol. 33, pp. 863-868, 2021.
- [3] M. Akgün and N. Barlık, "Makine Öğrenmesi Algoritmaları Kullanılarak Hava Kalitesi İndeksinin Tahmini," *European Journal of Science and Technology*, vol. 51, pp. 97-107, 2023.
- [4] R. Lanzafame, P. Monforte, G. Patanè, and S. Strano, "Trend analysis of Air Quality Index in Catania from 2010 to 2014," *Energy Procedia*, vol. 82, pp. 708-715, 2015.
- [5] J. G. Wilson, S. Kingham, J. Pearce, and A. P. Sturman, "A review of intraurban variations in particulate air pollution: Implications for epidemiological research," *Atmospheric Environment*, vol. 39, no. 34, pp. 6444-6462, 2005.
- [6] H. Guo et al., "Do socioeconomic factors modify the effects of PM1 and SO2 on lung cancer incidence in China?," *Science of the Total Environment*, vol. 756, p. 143998, 2021.
- [7] Z. Liu et al., "Development of land use regression model and health risk assessment for NO2 in different functional areas: A case study of Xi'an, China," *Atmospheric Environment*, vol. 213, pp. 515-525, 2019.
- [8] ÇŞİDB, "Yer Seviyesi Ozon Kirliliği Bilgi Notu," [Online]. Available: https://webdosya.csb.gov.tr/db/cygm/editordosya/Ozon_kirlili%C4%9Fi_bilgi_notu.pdf. [Accessed: Jun. 8, 2024].
- [9] C. Tao et al., "Exhalation metabolomics: A new force in revealing the impact of ozone pollution on respiratory health," *Environmental and Experimental Health Journal*, Journal Pre-proof, 2024.
- [10] N. B. Hampson, C. A. Piantadosi, S. R. Thom, and L. K. Weaver, "Practice Recommendations in the Diagnosis, Management, and Prevention of Carbon Monoxide Poisoning," *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, vol. 186, no. 11, pp. 1095-1101, 2012.
- [11] S. Zheng, C. X. Cao, and R. P. Singh, "Comparison of ground based indices (API and AQI) with satellite based aerosol products," *Science of the Total Environment*, vol. 488-489, pp. 398-412, 2014.
- [12] Y. Li, Y. Chen, H. Karimian, and T. Tao, "Spatiotemporal analysis of air quality and its relationship with meteorological factors in the Yangtze River Delta," *Journal of Elementology*, vol. 25, no. 3, pp. 1059-1075, 2020.
- [13] Y. Di and R. Li, "Correlation analysis of AQI characteristics and meteorological conditions in heating season," *Environmental Earth Sciences*, vol. 242, p. 022067, 2019.
- [14] D. Zhang, S. Tang, R. Ci, and D. Qiong, "Analysis of the Air Pollution Index and Meteorological Factors and Risk Assessment for Tibet," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1838, p. 012047, 2021.
- [15] İ. Yener and K. O. Demirarslan, "Determining the Factors Affecting Air Quality in Marmara, Turkey, and Assessing it Using Air Quality Indices," *Doğa Afet ve Çevre Dergisi*, vol. 8, no. 2, pp. 383-395, 2022.

- [16] H. Özel, P. Cihan, H. K. Özcan, S. Aydın, and A. Hanedar, "Hava Kirletici Parametrelerinin Hava Kalitesi İndeksine Uzun Zamanlı Etkilerinin İncelenmesi: Çerkezköy Organize Sanayi Bölgesi Örneği," *Kırklareli University Journal of Engineering and Science*, vol. 7, no. 1, pp. 94-106, 2021.
- [17] P. M. R. Sarkar et al., "Impact and Correlation of Air Quality and Climate Variables with COVID-19 Morbidity and Mortality in Dhaka," *Asian Climate Trends*, vol. 5, no. 4, p. 000197, 2020.
- [18] ÇŞİDB, "Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı," [Online]. Available: https://sim.csb.gov.tr/STN/STN_Report/StationDataDownloadNew. [Accessed: Mar. 5, 2024].
- [19] ÇŞİDB, "Ardahan İli 2020 Yılı Çevre Durum Raporu," [Online]. Available: https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/2020_ardahan_-cdr-20210803140316.pdf. [Accessed: Mar. 5, 2024].
- [20] Mevzuat Bilgi Sistemi, "Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği," [Online]. Available: <https://www.mevzuat.gov.tr/File/GeneratePdf?mevzuatNo=12188&mevzuatTur=KurumVeKurulusYonetmeli&mevzuatTertip=5>. [Accessed: Jan. 3, 2024].
- [21] E. Bölük, "Köppen İklim Sınıflandırmasına Göre Türkiye İklimi," Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Ankara, 2016.
- [22] M. Z. Öztürk and H. Kılıç, "Ardahan'da iklim parametrelerindeki değişimin zamansal analizi," *Türk Coğrafya Dergisi*, vol. 70, pp. 37-43, 2018.
- [23] Millî Savunma Bakanlığı Harita Genel Müdürlüğü, "Ardahan İl Haritası," [Online]. Available: <https://www.harita.gov.tr/urun/ardahan-mulk-idare-il-haritasi/455>. [Accessed: Apr. 15, 2024].
- [24] ÇŞİDB, "Hava Kalitesi İzleme Sistemi," [Online]. Available: <https://sim.csb.gov.tr/Home/HKI?baslik=HAVZA%20%C4%B0ZLEME%20S%C4%B0STEM%C4%B0>. [Accessed: Mar. 5, 2024].
- [25] USEPA, *Technical Assistance Document for the Reporting of Daily Air Quality – the Air Quality Index (AQI)*, 2018.
- [26] European Parliament and European Council, "Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe," [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2008/50/oj>. [Accessed: Jun. 7, 2024].
- [27] WHO, *WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide*, [Online]. Available: <https://iris.who.int/handle/10665/345329>. [Accessed: Jun. 7, 2024].
- [28] N. Barlık, "Meteorolojik Faktörlerin HKİ Üzerine Etkisinin Çoklu Regresyon Modeli ile Analizi," *MAS 16th International European Conference On Mathematics, Engineering, Natural & Medical Sciences*, Mardin, 2022.



Research Article

Creation and Calibration of Hydraulic Model for Leakage Management in Water Distribution Systems

Furkan Boztaş¹, Mahmut Fırat²*

¹ Malatya Water and Sewerage Administration, 44180, Malatya, Türkiye

² Civil Engineering Department, İnönü University, 44280, Malatya, Türkiye

* Correspondence: mahmut.firat@inonu.edu.tr

Received: 22 October 2024; Accepted: 22 November 2024; Published: 31 December 2024

Abstract: Leaks occur at different rates in water distribution systems (WDSs). Network characteristics, high pressure, environmental factors and operational factors are effective on leaks. Field detection and monitoring activities should be implemented to reduce the volume of leaks resulting from faults in the WDS. The aim of this study is to create and calibrate the district metered area (DMA) based hydraulic model to understand the network behavior and monitor the hydraulic components. The hydraulic model is based on consumption data, network topology, characteristics and pipe roughness information. Calibration should be performed by comparing the pressures obtained from the model with the pressures measured in the field in order to apply the model in leakage management. Incomplete or incorrect network information may cause the difference between these two pressures to be large. In particular, basic data such as incomplete creation of the network topology, incomplete or incorrect acquisition of roughness and consumption information are effective in not providing model calibration. In the calibrated hydraulic model, it is possible to detect and prevent potential leaks by monitoring pressure changes at the nodes. It is thought that the results obtained in this study will constitute a reference in leakage management and hydraulic analysis.

Keywords: Distribution system, hydraulic model, model calibration, leakage management

Araştırma Makalesi

İçmesuyu Dağıtım Sistemlerinde Sızıntı Yönetimi için Hidrolik Modelin Oluşturulması ve Kalibrasyonu

Öz: İçmesuyu dağıtım sistemlerinde farklı oranlarda sızıntı meydana gelmektedir. Sızıntılar üzerinde şebeke özellikleri, yüksek basınç, çevresel faktörler ve işletme faktörleri etkilidir. Dağıtım sisteminde arızalardan kaynaklanan sızıntı hacminin azaltılması için sahada tespit ve izleme faaliyetleri uygulanmalıdır. Bu çalışmada, şebeke davranışının anlaşılması ve hidrolik bileşenlerin izlenmesi için İzole Ölçüm Bölge bazlı hidrolik modelin oluşturulması ve kalibrasyonu amaçlanmıştır. Hidrolik modelde, tüketim verileri, şebeke topolojik, karakteristik ve boru pürüzlülük bilgileri esas alınmaktadır. Modelin sızıntı yönetiminde uygulanabilmesi için modelden elde edilen basınçlar sahada ölçülen basınçlar ile kıyaslanarak kalibrasyon yapılmalıdır. Şebeke bilgilerinin eksik veya hatalı alınması bu iki basınç arasındaki farkın fazla olmasına neden olmaktadır. Model kalibrasyonunun sağlanmamasında özellikle, şebeke topolojisinin eksik oluşturulması, pürüzlülük ve tüketim bilgilerinin eksik veya yanlış alınması gibi temel veriler etkili olmaktadır. Kalibre edilmiş hidrolik modelde, düğüm noktalarında basınç değişimleri izlenerek potansiyel sızıntıların farkına varılması ve önlenmesi mümkün olmaktadır. Bu çalışmada elde edilen sonuçların sızıntı yönetiminde ve hidrolik analizinde referans oluşturacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Dağıtım sistemi, hidrolik model, model kalibrasyonu, sızıntı yönetimi

Citation: F. Boztaş and M. Fırat, "Creation and Calibration of Hydraulic Model for Leakage Management in Water Distribution Systems", *Journal of Studies in Advanced Technologies*, vol. 2, no. 2, pp. 95-107, Dec 2024, doi: 10.63063/jsat.1571651

1. Introduction

Failures and leaks occurring due to various factors in WDSs cause the increasing the real loss volume which is a significant portion of volumetric water losses [1], [2]. To reduce these losses, water utilities must first determine how much loss is occurring, where and why the losses occur, and how they can be reduced [3]. Leaks in WDSs cause the reducing the water resources and increase pump operating durations, resulting in inefficient use of water and energy resources [4]. In addition, it creates a wide range of negative effects, such as increasing operating and maintenance costs due to increasing failure and leakage rates, decreasing service quality, increasing subscriber complaints, making the system technically inoperable, and changing water quality due to failure density [5], [6], [7], [8]. In the literature, various methods that are the pressure management, active leakage control, pipe material management, real-time monitoring etc., have been proposed at different times by various researchers and organizations (IWA, AWWA) in order to analyze the amount of leakage, recognize the leakage, detect and control leaks [9], [10]. Moreover, the studies of leakage estimation with support vector machine [11], leakage detection with transient-based matched-field (MFP) method [12], leakage analysis with BABE (burst and background estimates) method [13] have been applied. It can be said that they generally focus on one of the mentioned topics [14]. In recent years, mathematical-statistical and optimization-based methods have been applied to detect, prevent, control and manage leaks [15], [16], [17]. The most important difficulties or constraints in the implementation of such approaches can be shown as deficiencies or uncertainties in the information of the field data (network geometry, consumption data, pressure measurements, etc.) and difficulties in the calibration phase [18]. The study conducted by Boztaş [19] aimed to determine non-surface (unreported) leaks and a genetic algorithm-based optimization model was proposed. The proposed model in the study was tested in two distribution systems and the average accuracy rate was expressed as 92%.

Establishing the hydraulic model includes performing the hydraulic analysis by considering the existing conditions in the WDS (topology, diameter, material type, roughness coefficient, customer's consumption characteristics, etc.) and monitoring the hydraulic parameters (e.g., flow and pressure) with field calibration [20]. In general, important issues which directly affect the model results, in the implementation of this model are the defining the flow rates at the nodes depending on the customer consumption characteristics, defining the existing network plan and characteristics, determining the pipe roughness's to represent the real conditions [21]. After the hydraulic model is designed, field calibration is the most important step for its application in leakage management. Appropriate hydraulic models to be used to analyze a WDS require a calibration process [22]. The accuracy of the calibration process can be tested by comparing the data obtained from the hydraulic model and data measured in the field. Incomplete or incorrect network information results in a large difference between field data and model data. Uncertainties in the network topology and geometry, roughness and lack of consumption information are particularly effective in ensuring model calibration. In the hydraulic model calibrated with field data, it is possible to detect and prevent potential leaks by monitoring pressure changes at the nodes. Since the time required to detect and locate leaks that do not come to the surface will be reduced, the total leak volume in the system will also be reduced.

The aim of this study is to create and calibrate the district metered area (DMA) based hydraulic model to understand the network behavior and monitor the hydraulic components. The hydraulic model is based on consumption data, network topology, characteristics and pipe roughness information. For this purpose, a hydraulic model was created for the pilot isolated region. The pressures obtained from the model were compared with the pressures measured in the field and calibration was performed in order to apply the model in leakage management. The most important advantage of this study is the use of real field data. Creating hydraulic model calibration is performed according to these data. In real field problems, model and calibration processes are time-consuming and costly depending on the accuracy of network and customer information. This study also reveals the effect of field data accuracy on model calibration. In this respect, it makes a significant contribution to researchers.

2. Material and Method

2.1. Hydraulic Model and Calibration

A model, in its most basic definition, is a simplification, in other words, a simulation, of a real-world event or system. Hydraulic modeling is the process of analyzing the hydraulic behavior of the infrastructure

systems (water, sewage, drainage and flood) in the field and creating a mathematical model of the system [19]. Hydraulic models do not fully reflect the field behavior of the real systems they simulate mathematically due to uncertainties in the input data (network geometry, pipe characteristics, consumption quantities, etc.), and a difference occurs between them. At this point, the concept of calibration which is basically the process of minimizing the differences between a model and the system it represents, comes into play. The main parameters that cause this difference between the model and the field are the network geometry, time-dependent changes in network characteristics, uncertainties in consumption and leakages [19]. The study area is the Akpınar DMA located in Malatya province in southeastern Turkey (Figure 1). The EPANET program for hydraulic modeling and calibration was used. Hazen-William's formula was considered for hydraulic calculations. The QGIS software which is opensource software, were used to make the data suitable for modeling. The data required in the hydraulic model preparation process for the Akpınar DMA region is summarized below.



Figure 1. Study area and Akpınar DMA [19]

2.2. Network Topology

It is necessary to have the geometry of that network in a digital environment, since the hydraulic model of a water network means simulating the hydraulic properties of that network in a digital environment. The network in the Akpınar DMA is an older network than the average in Malatya province (Figure 2). It has a fragmented network structure obtained by combining productions completed at different times. The network age varies between 30 and 40 years.



Figure 2. Akpınar DMA network layout [19]

The data regarding the network geometry are only digital operation plans consisting of 40-year-old maps available on paper. These data were transferred to the digital environment by Malatya Water and Sewerage Administration (MASKİ) and as the faults that occurred over time were intervened, the verifications and updates of the existing digital map were carried out with the measurements taken from the network that was opened. However, the data available is not completely reliable. The network generally consists of, Ductile Font (DF), Polyvinyl Chloride (PVC) and Asbestos Cement Pipe (ACP) pipes with ages ranging from 30 to 40 (Table 1).

Table 1. Akpınar DMA Network Information

Diameter (mm)	Pipe material	Length (m)
Ø400	ACP	270.24
Ø300	ACP	184.02
Ø175	ACP	474.50
Ø150	ACP	1447.39
Ø150	DF	210.61
Ø100	DF	261.23
Ø140	PVC	133.93
Ø125	PVC	938.30
Ø110	PVC	9544.00

Water supply to Akpınar DMA is provided by DN 900 mm steel pipe from İnderesi Water Reservoir. While the lower level of the reservoir is 1038.51 m, the upper level of the reservoir is 1042.21 m. The topology of Akpınar DMA was obtained by means of current maps and digital terrain model maps. QGIS program was used to transfer the data to EPANET hydraulic model. The water consumptions were obtained from MASKİ in order to determine the consumption characteristics of the DMA. Total number of customers is 2230 and the daily water consumption per customer is 0.416 m³/day/customer. The average daily consumption is 927.2575 m³/day (Table 2). Network specific consumption patterns were obtained using existing flow measurements of the study area. The consumption in patterns is modeled according to the obtained consumption patterns (Figure 3). Although measurements of hydraulic events occurring in the field (pressure, flow) are not directly essential for the hydraulic model, they are necessary for model validation and calibration.

Table 2. The customer data in DMA

Customer type	Number of customers	Daily consumption (m ³ /day)	Daily consumption per customer (m ³ /day/customer)
Residential	1842	712.11	0.387
Construction	1	0.19	0.188
Public	9	30.54	3.393
Commercial	373	121.28	0.325
Total	2230	927.2575	0.416

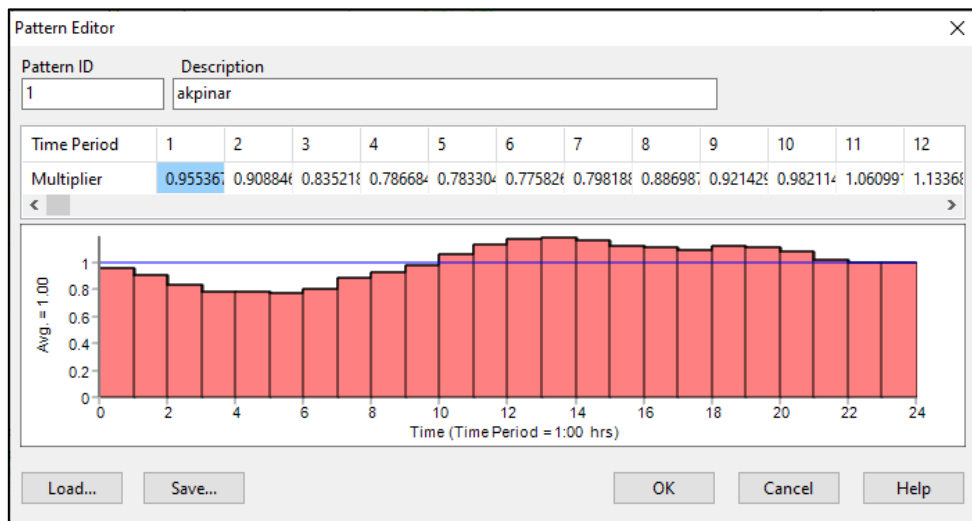


Figure 3. Study area consumption pattern obtained as a result of flow monitoring [19]

The flow measurement data obtained from the AKP-02 measurement point are as shown in Figure 4. The flow rate from the measurement point to the working area fluctuates between 11 l/s and 21 l/s depending on consumption fluctuations during the day. The data obtained within the scope of the study were compiled in the EPANET environment and hydraulic simulations were completed (Figure 5). The next stage is the calibration stage. It is aimed to minimize the differences by comparing the calculated data with the measured values.

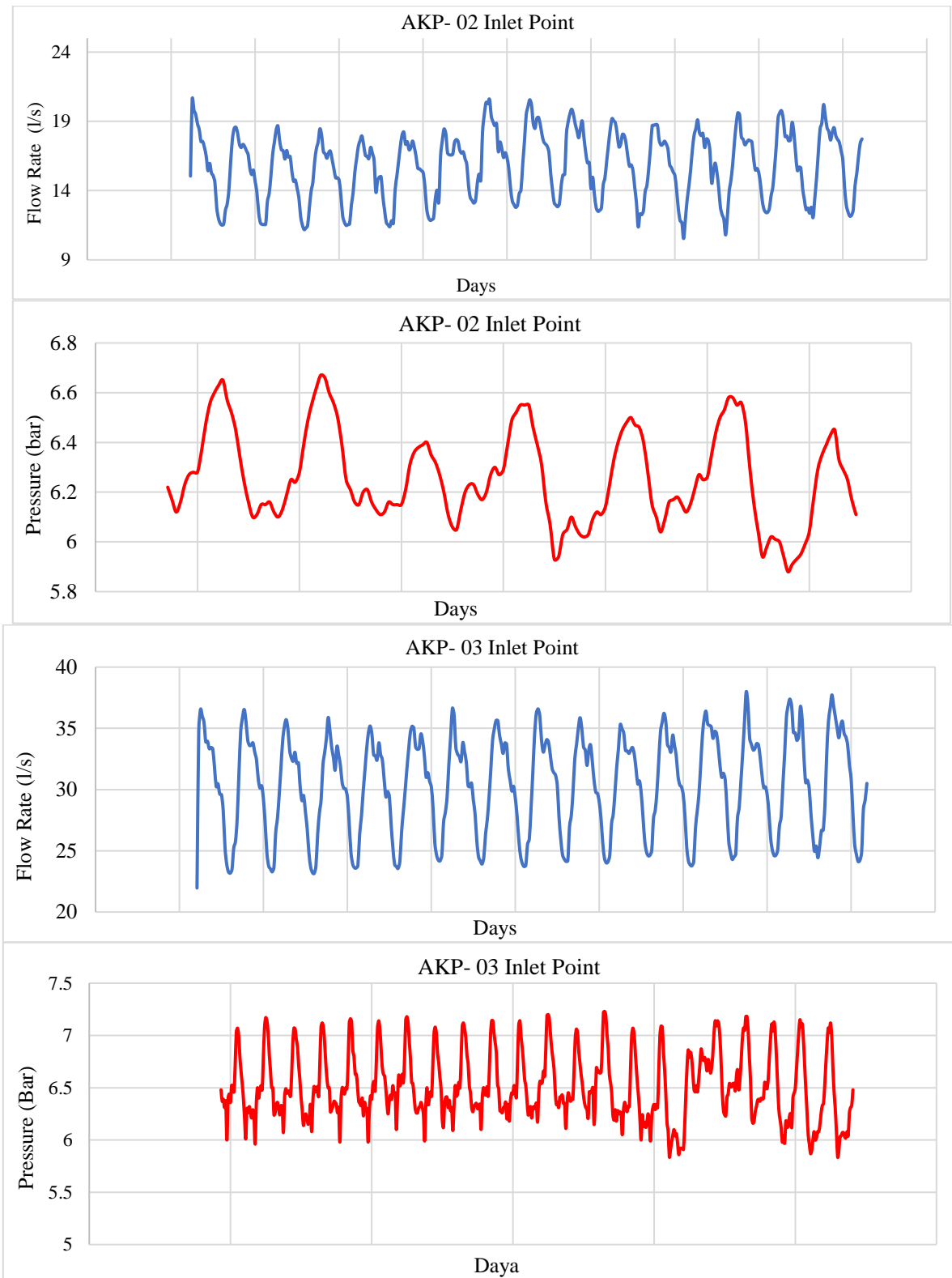


Figure 4. Flow and pressure changes in the application area [19]

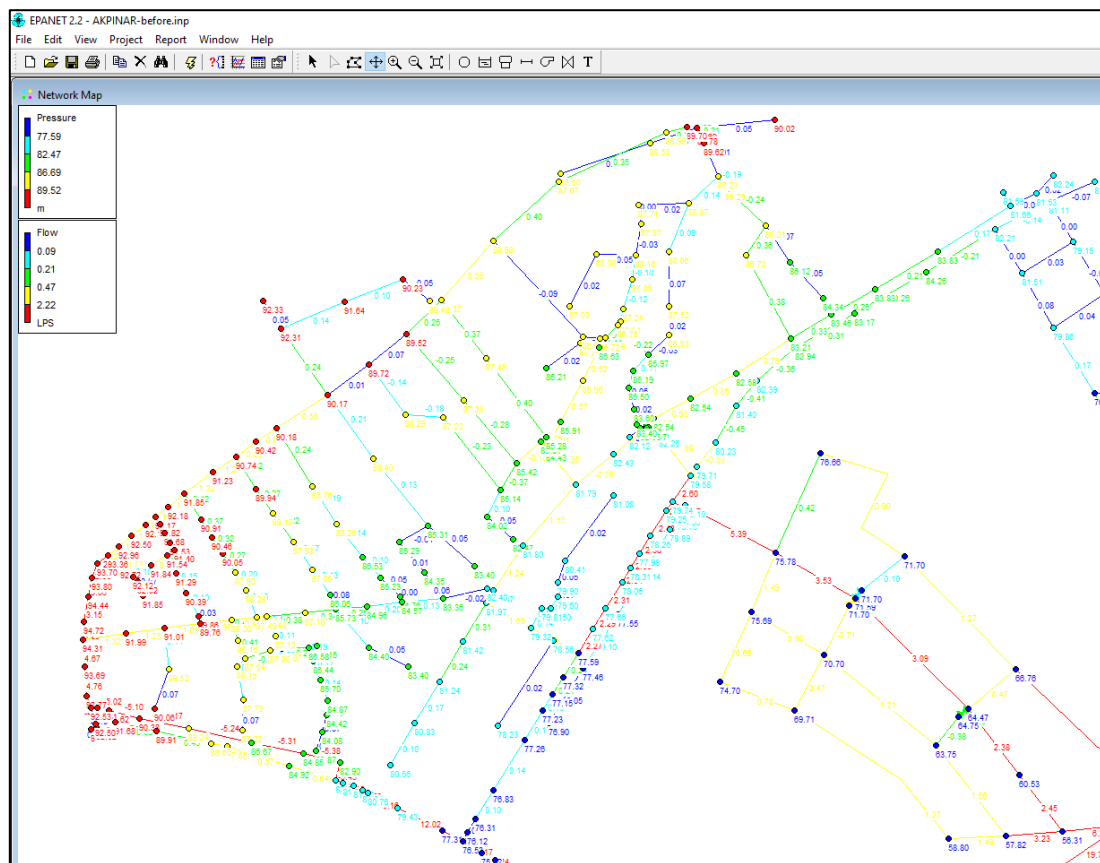


Figure 5. Hydraulic model of Akpinar DMA [19]

2.3. Model Calibration

In the EPANET software, calibration data can be made in response to the pressure data measured in the field at the nodes, and in response to the flow rate (velocity, flow) data measured in the field at the pipes. The network elements were selected that represented the measurement points available in the field on the hydraulic model in order to complete the calibration of the network where hydraulic model was created. In this context, the flow meter data at the AKP-02 and AKP-03 points were considered for the inlet flow rate. Additionally, Node23 and Node250 nodes were determined for pressure calibration in the model. Link_Pipe611 and Link_Pipe751 were selected for velocity calibration. The field measurement data of the network elements in question, representing the measurement points in the model, were defined in the program using the calibration interface of the EPANET program for the pipes numbered 611 and 751 and the nodes numbered 23 and 250. Pressure and flow data for measurement points were compared using the EPANET calibration feature. The red line in the graphs shows the model results, and the green dots show the field measurements.

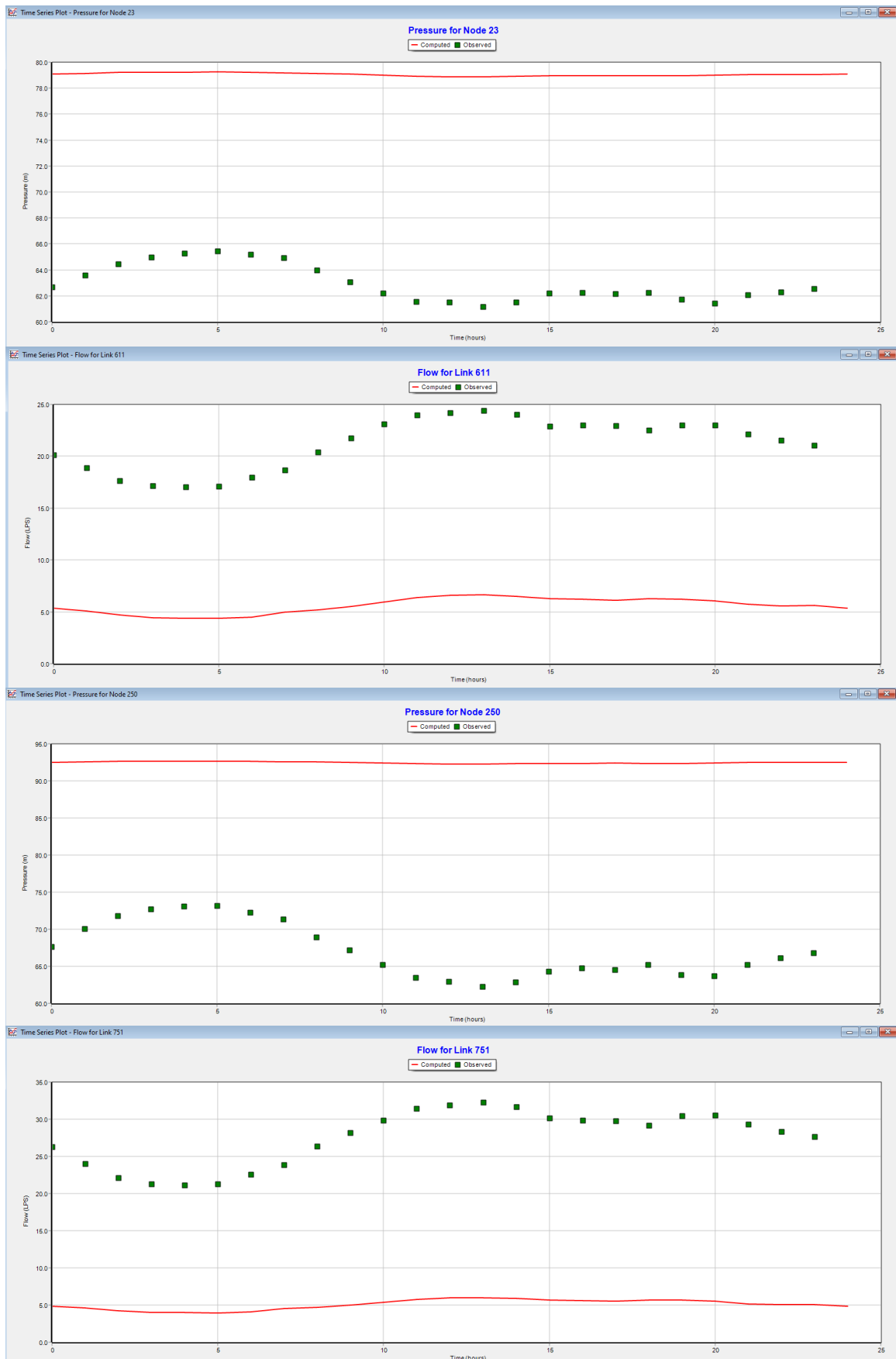


Figure 6. Field and model comparison for flow and pressure data at the nodes determined in the model.

Since the field measurements consist of data taken hourly, their reflection on the graph is in the form of points. It is observed that the pressure data calculated for node 23 in the model is higher than the pressure data measured in the field and the time-dependent change trends do not overlap. The designed hydraulic model is

far from reflecting the field results at this stage. It is seen that the flow rates calculated for pipe no. 611 in the hydraulic model are below the flow rates measured in the field. Moreover, it is seen that the pressure values calculated for node 250 are higher than the measured pressures and their trends do not overlap. The calculated flow rates for pipe number 751 in the hydraulic model were below the measured flow rates, similar to those at the other measurement points. Calibration statistics for the pressure parameter of the regional hydraulic model are as shown in Table 3. In hydraulic model calibration, the results obtained from the model at the node point must be close to the field measurement results. The reduction of the difference between this model and the field results increases the potential of the model to represent the field. Therefore, it is essential to determine the model parameters correctly to reduce the difference.

There is no clear correlation between the flow data of the hydraulic model and the field measurements. It turned out that the hydraulic model did not represent the field conditions. Therefore, the network data needs to be corrected. An attempt was made to correct missing or incorrect data such as pipe roughness coefficients, network geometry, consumption distribution, and leaks. The inflow rates passing through the customer meters in the region were compared. In the region, $Q_{\text{consumer}} = (927.2575 \text{ m}^3/\text{day} * 1000 \text{ l/m}^3)/86400 \text{ s/day}$ and $Q_{\text{consumer}} = 10.73 \text{ l/s}$ were obtained. As a result, it can be roughly said that there is a loss flow rate of 36.15 l/s in DMA. This corresponds to a loss rate of approximately 77%.

Table 3. Calibration statistics for pressure and flow in DMA

Location	Number of Measurement	Average of Measurements	Average of Calculations	Average Error	Root Mean Square Error (RMSE)
Pressure					
Node 23	24	62.94	79.06	16.114	16.165
Node 250	24	67.08	92.48	25.395	25.628
Network	48	65.01	85.77	20.755	21.425
Flow Rate					
Node 611	24	21.19	5.62	15.571	15.666
Node 751	24	27.47	5.08	22.391	22.593
Network	48	24.33	5.35	18.981	19.440

The widely used minimum night flow analysis method was applied to estimate the leakage flow rate in the region. The average of daily minimum flow rates at AKP-02 point is 11.3 l/s and at AKP-03 point is 23.8 l/s. The average of the minimum flow rates passing through both flow meters is 35.1 l/s. In the study conducted by Boztaş et al. [23], it was stated that there was a loss of approximately 75% in the region according to the minimum night flow analysis. The leakage flow rate calculated in the calibration was distributed to the nodes in the hydraulic model, considering the required flow rates and pipe lengths. The network in DMA consists mainly of PVC and ACP pipes. The Hazen-Williams coefficient was initially selected as 150 for PVC and 130 for ACP. During the calibration phase, systematic hydraulic analysis was performed, improvements were monitored and finally coefficient was selected as 130 for PVC and 110 for ACP. After the hydraulic model for the DMA was completed, the first stage calibration values were calculated according to the field data. According to the results, the roughness coefficient for network pipes has been updated and network topology was revised. Moreover, the leakage flow rate was calculated and distributed to the nodes in proportion to their consumption. The leakage distribution needs to be investigated realistically with further studies, and the leakage model of the region needs to be determined in order to create a calibration model that is more realistic and more consistent with field measurements. Once the hydraulic model is created and calibrated, as long as this model is kept dynamic, it will be possible to quickly detect and intervene in new leaks.

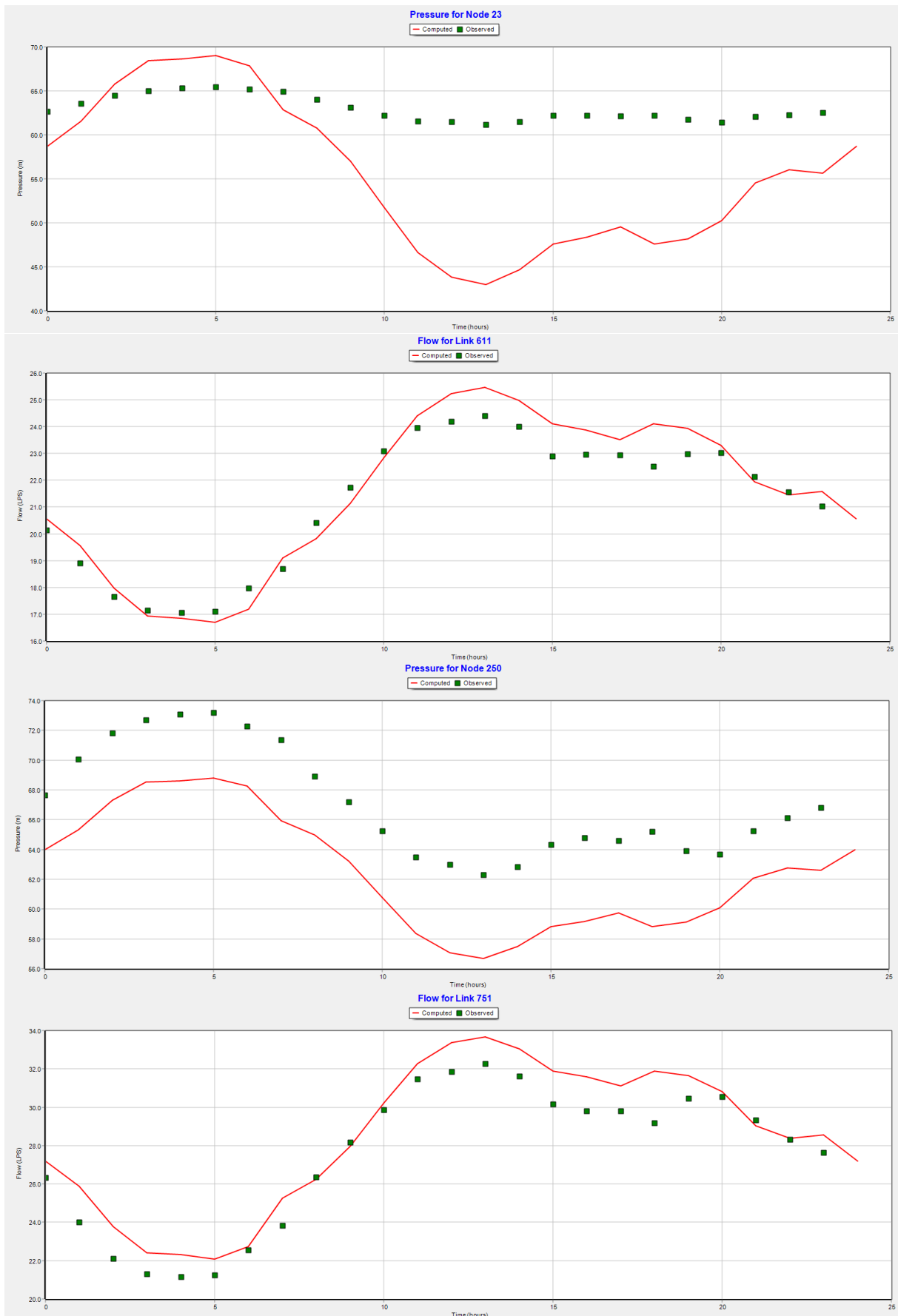


Figure 7. Comparison of field and model for flow and pressure data at nodes after calibration.

Data obtained from the field measurements and the calibrated hydraulic model for pipe No. 611 were compared. A visible agreement between the trends of the data and the differences between the field

measurements and the model results are largely closed. Another node where the measurement points in the field are represented on the model is node number 250. After the calibration studies, the differences between the field measurements and the model results have decreased but have not completely closed. However, the trends of the two data sets overlap with each other. The differences between the field and the model for pipe no. 751 are closed and the data sets are compatible with each other (Table 4).

Table 4. Calibration statistics for pressure and flow in DMA

Location	Number of Measurement	Average of Measurements	Average of Calculations	Average Error	RMSE
Pressure					
Node 23	24	62.94	55.35	8.785	10.415
Node 250	24	67.08	62.44	4.641	4.713
Network	48	65.01	58.90	6.713	8.083
Flow Rate					
Node 611	24	21.19	21.52	0.612	0.716
Node 751	24	27.47	28.48	1.053	1.248
Network	48	24.33	25.00	0.833	1.017

When the post-calibration correlation graph for the pressure data is examined, two data sets are much more compatible with each other than before calibration, although a high-degree linear relationship between the field and the model has not been fully established. A high degree of agreement was achieved between the field and model results, and the differences between the two were reduced to very small amounts.

3. Results

After the hydraulic model for the Akpınar region was completed, the first stage calibration values were calculated based on the field data. The roughness coefficient for network pipes was updated. Inaccuracies detected in the network geometry were corrected. The leakage flow rate is distributed by taking into account the consumption at the nodes and in proportion to the pipe lengths. In order to create a calibration model that is more realistic and more consistent with field measurements, the leakage distribution needs to be investigated realistically and the leakage model of the region needs to be determined. The most fundamental problem for hydraulic model and calibration is to provide reliable and accurate data in the field. In particular, network topology, pipe roughness and accuracy of water consumption directly affect model calibration. In the studies conducted in the pilot region, it was determined that the model calibration was improved as a result of updating these data with field studies. The network hydraulic model provides important information for technical personnel about the behavior of the system. It is possible to monitor and prevent new leaks by using the network hydraulic model. In future studies, it is recommended to create a leak management and monitoring system based on the hydraulic model. It will also be possible to monitor excessive or unregistered subscriber consumption in the system

Author Contributions

Methodology, M.F.; software, F.B.; validation, F.B.; investigation, M.F. and F.B.; writing and editing, M.F.; visualization and design, M.F. All authors have read and approved the published version of the manuscript.

Acknowledgments

This study was supported by Inonu University Scientific Research Project Unit (IUBAP- FDK-2020-2054).

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

References

- [1] D. Pearson, *Standard Definitions for Water Losses*. London, UK: IWA Publishing. 2019.
- [2] C. Bozkurt, "Development of Optimization Based Optimum Strategy Model for Water Loss Management and Control. "Ph.D. Thesis, İnönü University, Institute of Science, 2022.
- [3] A. Knobloch, P. Klingel, "Water balance auditing as basis for water loss management. State-of-the-art and current practices, "*Fachberichte Wasserverlustmanagement gwf-Wasser Abwasser*, 1226–11233, 2013.
- [4] M. Feldman, April). "Aspects of energy efficiency in water supply systems," *In Proceedings of the 5th IWA water loss reduction specialist conference*, vol. 26, pp. 30, 2009.
- [5] D.C. Morais, A.T. de Almeida, "Group decision-making for leakage management strategy of water network, "*Resources, Conservation and Recycling*, 52(2), 441-459.
- [6] M.R.N. Vilanova, J.A.P. Balestieri, "Energy and hydraulic efficiency in conventional water supply systems," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 30, 701-714, 2014.
- [7] T. Al Qahtani, M.S. Yaakob, N. Yidris, S. Sulaiman, K.A. Ahmad, "A review on water leakage detection method in the water distribution network," *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 68(2), 152-163, 2020.
- [8] T. Mu, M. Huang, H. Tan, G. Chen, R. Zhang, "Pressure and water quality integrated sensor placement considering leakage and contamination intrusion within water distribution systems," *ACS ES&T Water*, 1(11), 2348-2358, 2021.
- [9] O. Hunaidi, W. Chu, A. Wang, W. Guan, "Detecting leaks in plastic pipes," *Journal-American Water Works Association*, 92(2), 82-94, 2000.
- [10] S. Zhou, Z. O'Neill, C. O'Neill, "A review of leakage detection methods for district heating networks," *Applied Thermal Engineering*, 137, 567-574, 2018.
- [11] Qu, Z., Feng, H., Zeng, Z., Zhuge, J., & Jin, S. (2010). A SVM-based pipeline leakage detection and pre-warning system. *Measurement*, 43(4), 513-519.
- [12] X. Wang, M.S. Ghidaoui, "Pipeline leak detection using the matched-field processing method," *Journal of Hydraulic Engineering*, 144(6), 04018030, 2018.
- [13] H. Aboelnga, M. Saidan, R. Al-Weshah, M. Sturm, L. Ribbe, F.B. Frechen, "Component analysis for optimal leakage management in Madaba, Jordan," *Journal of Water Supply: Research and Technology—AQUA*, 67(4), 384-396, 2018.
- [14] A. Gupta, K.D. Kulat, "A selective literature review on leak management techniques for water distribution system," *Water Resources Management*, 32, 3247-3269, 2018.
- [15] S. Sophocleous, D. Savić, Z. Kapelan, "Leak localization in a real water distribution network based on search-space reduction," *Journal of Water Resources Planning and Management*, 145(7), 04019024, 2019.
- [16] X. Diao, J. Jiang, G. Shen, Z. Chi, Z. Wang, L. Ni, Y. Hao, "An improved variational mode decomposition method based on particle swarm optimization for leak detection of liquid pipelines," *Mechanical Systems and Signal Processing*, 143, 106787, 2020.
- [17] X. Hu, Y. Han, B. Yu, Z. Geng, J. Fan, "Novel leakage detection and water loss management of urban water supply network using multiscale neural networks," *Journal of Cleaner Production*, 278, 123611, 2021.

- [18] O. Bello, A.M. Abu-Mahfouz, Y. Hamam, P.R. Page, K.B. Adedeji, O. Piller, “Solving management problems in water distribution networks: A survey of approaches and mathematical models,” *Water*, 11(3), 562, 2019.
- [19] B. Boztaş, “Creating A Leakage Detection Model for Water Distribution Networks By Using Heuristic And Statistical Methods,” PhD Thesis, İnönü University, Institute of Science, 2023.
- [20] K.E. Lansey, W. El-Shorbagy, I. Ahmed, J. Araujo, C.T. Haan, “Calibration assessment and data collection for water distribution networks,” *Journal of Hydraulic Engineering*, 127(4), 270-279, 2021.
- [21] D. Sarisen, V. Koukoravas, R. Farmani, Z. Kapelan, F.A. Memon, “Review of hydraulic modelling approaches for intermittent water supply systems,” *AQUA—Water Infrastructure, Ecosystems and Society*, 71(12), 1291-1310, 2022.
- [22] A. Zanfei, A. Menapace, S. Santopietro, M. Righetti, “Calibration procedure for water distribution systems: Comparison among hydraulic models,” *Water*, 12(5), 1421, 2020.
- [23] F. Boztaş, Ö. Özdemir, F.M. Durmuşçelebi, M. Firat, “Analyzing the effect of the unreported leakages in service connections of water distribution networks on non-revenue water,” *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 16, 4393–4406, 2019.



Research Article

Measuring Digital Data Security Awareness: The Case of Higher Education Institution

Salih Serkan Kaleli¹ *

¹ Vocational School of Social Sciences, Ardahan University, 75002, Ardahan, Türkiye

* Correspondence: salihserkankaleli@gmail.com

Received: 26 November 2024; Accepted: 14 December 2024; Published: 31 December 2024

Abstract: Digital data security is of critical importance for individuals and institutions today and encompasses a range of practices and policies aimed at ensuring the confidentiality, integrity and accessibility of digital data. This study aimed to examine the awareness levels of students as well as academic and administrative staff at Ardahan University regarding digital data security and the factors affecting this awareness. A digital data security awareness scale was applied to 324 participants within the scope of the study. The digital data security awareness scale measures the participants' knowledge and behaviors on issues such as password security, safe internet use, data backup and software updates. The data obtained show that the participants generally have a medium to high level of awareness regarding digital data security. It is thought that the results of the research are important in terms of showing that students, as well as academic and administrative staff working at the university, are aware of the protection and security of digital data. In addition, the study reveals the current status of digital data security awareness throughout the university by covering both academic and administrative staff as well as students. This broad scope is intended to help universities better understand the needs of different groups when creating their digital data security policies.

Keywords: Digital data, digital data security, information security, awareness

Araştırma Makalesi

Dijital Veri Güvenliği Farkındalığının Ölçümlenmesi: Yükseköğretim Kurumu Örneği

Öz: Dijital veri güvenliği, günümüzde bireyler ve kurumlar için kritik bir öneme sahip olup, dijital verilerin gizliliğini, bütünlüğünü ve erişilebilirliğini sağlamayı hedefleyen bir dizi uygulamayı ve politikayı kapsamaktadır. Bu çalışma, Ardahan Üniversitesi'ndeki akademik ve idari personelin yanı sıra öğrencilerin dijital veri güvenliği konusundaki farkındalık düzeylerini ve bu farkındalığı etkileyen faktörleri incelemeyi amaçlamıştır. Çalışma kapsamında 324 katılımcıya dijital veri güvenliği farkındalık ölçeği uygulanmıştır. Dijital veri güvenliği farkındalık ölçeği, katılımcıların parola güvenliği, güvenli internet kullanımı, veri yedekleme ve yazılım güncelleme gibi konulardaki bilgi ve davranışlarını ölçmektedir. Elde edilen veriler, katılımcıların dijital veri güvenliği konusunda genel olarak orta ila yüksek düzeyde farkındalığa sahip olduğunu göstermektedir. Araştırma sonuçlarının, üniversitede görev yapan akademik ve idari personelin yanı sıra öğrencilerin de dijital verilerin korunması ve güvenliği konusunda bilinçli olduklarını göstermesi açısından önemli olduğu düşünülmektedir. Ayrıca çalışma hem akademik hem de idari personelin yanı sıra öğrencileri de kapsayarak, üniversite genelinde dijital veri güvenliği farkındalığının mevcut durumunu ortaya koymaktadır. Bu geniş kapsamda, üniversitelerin dijital veri güvenliği politikalarını oluştururken farklı grupların ihtiyaçlarını daha iyi anlamalarına yardımcı olması amaçlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Dijital veri, dijital veri güvenliği, bilgi güvenliği, farkındalık

Citation: S. S. Kaleli, "Measuring Digital Data Security Awareness: The Case of Higher Education Institution", *Journal of Studies in Advanced Technologies*, vol. 2, no. 2, pp. 108-119, Dec 2024, doi: 10.63063/jsat.1591281

1. Introduction

Digital data security has a vital importance in today's rapidly changing and digitalised world with new technologies. The proliferation of the Internet and digital technologies has brought with it the need to protect the security of personal and corporate data. With information security breaches increasing and cyber-attacks becoming more sophisticated, digital data security awareness has become an ever more important issue for people. The scope of digital security includes understanding online threats, knowing how to defend against them and actively using these defences across all devices. Protecting users' digital data starts with the creation of strong passwords and continues with the use of both free and paid security tools [1]. Digital information security is of great importance at both organisational and individual level. Because, loss of information or unauthorised access can have serious consequences such as financial losses, reputational damage and legal sanctions. Especially the protection of personal data is a critical issue in terms of privacy and security of individuals. For this reason, digital information security has become an increasingly important and widespread area today [2].

Digital data security covers a set of practices that protect the data in the digital environment against threats such as unauthorised access, modification or deletion. These applications ensure the protection of information by aiming to ensure the confidentiality, integrity and accessibility of data. There are 3 basic needs for the security of digital data. Confidentiality: It means protecting sensitive and private information and preventing its dissemination. Integrity: ensures that data remains complete in its original form. Accessibility: refers to the ability to access the system immediately when authorised users need it. In order to ensure security within the framework of these 3 basic requirements, it is very important that individuals or organisations take measures to prevent attacks such as authentication and encryption, access control, antivirus software, strong passwords [3].

For this purpose, the aim of the study is to determine the level of awareness of administrative staff, academic staff and students at Ardahan University on digital data security and to offer solutions to increase and improve this awareness. The main objectives of the study are to evaluate current digital data security practices and risks and to understand the digital data security perceptions and behaviours of different user groups (administrative staff, academic staff, students).

2. Conceptual Framework

Today, the expression "digital technologies" usually refers to devices with internet connection, but it actually covers all electronic tools, systems and resources that produce, store or process data. At this point, it is important to pay attention to the distinction between the concepts of "digitalization" and "digitalization", which are often confused in Turkish. Digitalization is the process of transferring analog or physical information (printed documents, images, sound recordings, etc.) to a digital environment, that is, converting them into bits or bytes. While the conversion of all information and documents of an institution to a digital format is called "digitalization", "digitalization" is a broader concept. When the evolution of digital technologies is examined, it is seen that the process, which starts with the transfer of tangible materials to a digital environment in the first stage, progresses over time towards the digitalization of processes and ultimately the deep interaction of people with the digital world [4]. In fact, the factors that form the basic structure of digitalization are technological and organizational processes. These processes include activities such as collecting, storing, processing, analyzing and securing data. Therefore, digital data refers to the data processed and evaluated through these processes. In other words, digital data can be defined as data produced and processed through digital technologies. These data can be obtained from various sources and used in different ways. For example, digital data obtained about students and teachers can be used to monitor, evaluate and improve learning processes [5].

In people's daily lives, social and business life includes physical environments as well as cyberspace (digital world) where we connect to people and software through internet connections. Today, the internet has become an inseparable part of our daily lives and behaviors. Using this area, where personal data is also shared, requires a certain level of awareness and skill. In this direction, it is critical for users to gradually improve their daily behaviors and to address unconscious behaviors and habits in terms of data security [6]. This includes both building knowledge, attitudes and behaviors that are in line with users' needs and expectations, and eliminating knowledge, attitudes and behaviors that stem from incomplete or incorrect perceptions of

risky situations. In short, people must be conscious of data security, develop the necessary skills and constantly evaluate and improve their online behaviors, especially in order to exist safely and effectively in cyberspace.

The main purpose of data security is to protect valuable and sensitive personal data such as e-mail and bank information. Valuable data, including educational information, financial data, and confidential information such as sensitive information on phone numbers collected, stored and managed by different institutions or organizations are a gold mine for hackers. Within the scope of data security, the processes and technologies used to protect data play a critical role in the best protection of personal data. In today's digital world, the protection of personal data has become one of the most important priorities for both individuals and institutions. Collected and stored data is a valuable asset [7].

Protecting data from corruption and unauthorized access prevents individuals from having their data stolen and used without their knowledge and consent. This requires creating defense mechanisms against threats that may come from both inside and outside. Data security is an essential element to ensure the privacy and security of individuals. Systems that allow people to store and share data on the internet are called cloud storage [8]. Cloud storage has advantages such as unlimited data storage and the creation of secure and useful storage areas. Data security is a critical issue for individuals and institutions in the digital age. Confidentiality, integrity, accessibility and secure management of data form the cornerstones of a reliable and effective information system. In this context, it is possible to summarize the basic principles of data security as follows [8], [9], [10].

- **Data Confidentiality:** It refers to the protection of data against unauthorized access. It is essential that the information received by the data recipient is completely consistent with the information sent by the sender. In other words, only authorized persons have access to data. For example, employees who are interested in personal bank accounts should have access, but no one else should have access. When data is accessed by others, data confidentiality is violated, and this situation is irreversible.

- **Data Integrity:** It refers to the reliability of data; that is, data cannot be arbitrarily changed or altered by others. For example, when shopping online, someone should not be able to change the products in your cart without your permission. Lack of data integrity can lead to serious security problems.

- **Data Accessibility:** It emphasizes that data can be accessed normally at any time. Users have the right to access, download or modify data in the cloud whenever they need.

- **Complete Data Deletion:** When users stop using cloud storage, they can completely delete the data they transferred to the cloud server and verify that the data is completely destroyed, rather than being tricked by malicious cloud service providers.

- **Privacy Protection:** While users are getting used to the convenience of cloud storage, cloud storage providers are stealing privacy information such as personal identity, location, and sensitive data for the organization. Privacy security mechanisms are used to ensure that this data remains private from snoopers and malicious employees of cloud service providers.

In conclusion, since data security is a multidimensional concept, all the principles mentioned above should be considered together to manage data securely and effectively. The application of these principles allows individuals and institutions to exist and operate safely in the digital world. The importance of digital data brings with it various risks. Cyber attacks, data breaches, malware, hardware failures and even natural disasters can damage or prevent access to digital data. Such incidents can lead to financial losses, identity theft and reputation damage for individuals, as well as serious consequences for institutions such as financial losses, loss of reputation and even bankruptcy. In order to avoid much worse consequences, people need to gain awareness of digital data security [11].

The main purpose of data security awareness is to raise awareness among people of all levels and social backgrounds about various critical issues that arise from insufficient attention to the management of their own data and the data of others. Therefore, Data security awareness undertakes the task of teaching users the correct use of information technologies and making them aware of this issue, providing tools to prevent and reduce the unintentional disclosure of sensitive data.

Cybercriminals are constantly developing new methods to exploit weaknesses in data security infrastructure. While organizations implement advanced security measures such as firewalls, encryption, and real-time monitoring, it is crucial to take proactive steps to further protect against data breaches and threats. In this regard, some practical and effective strategies that can be used to minimize data risks and strengthen data protection can be summarized as follows;

1. First, data breaches should be limited. Data breaches often start with weak passwords. Unsolicited personal requests via email, phone or text should not be responded to.
2. Create strong and unique passwords. Passwords should be changed regularly to reduce the possibility of data breaches.
3. It is important to enable multi-factor authentication. Multi-factor authentication acts as a double defense system for data. This significantly reduces the possibility of unauthorized access.
4. Beware of phishing attacks. Phishing is a leading tactic, especially in data breaches. Beware of emails or messages from unknown senders and avoid clicking on unverified links.
5. Software and systems need to be updated regularly. Operating systems, applications and antivirus software should be updated to fix new security vulnerabilities and minimize data breaches.

By implementing the above strategies, data security can be strengthened and become more resilient to cyber-attacks. Data security awareness plays an important role in implementing and implementing these strategies

3. Literature Review

The concept of digital data security has become one of the very important building blocks of today's information management by significantly affecting various sectors such as education, health, banking and public services due to the widespread use of computers, tablets and mobile devices. At the same time, it is equally important for individuals to be aware and conscious about the protection of information and data stored in digital environment. In one of the studies conducted for this purpose [12], examined the relationship between digital data security awareness and digital literacy. The research was conducted with the participation of 265 students and the relationship between the two concepts was presented in detail. According to the study, it was found that students' digital literacy levels were medium and digital data security awareness levels were high. In addition, a significant positive relationship was found between digital literacy and digital data security awareness. As a result of the study, adding digital literacy and data security courses to the curriculum is among the recommendations to raise awareness.

In another study [13], examined the digital parenting, digital literacy and digital data security awareness levels of preschool teachers and parents. "Digital Parenting Attitude Scale", "Digital Literacy Scale" and "Digital Data Security Awareness Scale" were used as data collection tools in the study. As a result of the study, it was found that preschool teachers had higher levels of digital literacy and digital data security awareness than parents, and there was a statistically significant difference between digital literacy and digital data security awareness. In another study where a significant relationship was found between digital data security and parental guidance scores [14], adapt the "Parental Guidance of Young Children's Internet Use Scale" developed by Nikken and Jansz into Turkish and to examine parental guidance according to some variables. As a result of the study, it is stated that a valid and reliable scale that is sufficient in terms of content to determine the level of parental guidance of young children's internet use contributes to the Turkish literature. In addition, it was determined that the parental guidance levels of young children's internet use differed according to age, education and internet use experience levels with the scale created as a result of the scale adaptation study.

In another study examining digital data security awareness [15], conducted a survey on pharmacy students. First, explanatory factor analysis was performed on the obtained data, then the effects of some variables on digital data security awareness were investigated with t-test and variance analysis. It was determined that digital data security awareness was higher in those who had an antivirus program on their smartphones. In addition, it was determined that the average of the students' responses to the statements in the scale was around three, and it was concluded that students' awareness on this issue should be improved. In

another study [16], conducted a study on security awareness and behavior of young people (digital natives). The study found that although users are less concerned about security when using laptops, even security-savvy users are more likely to compromise on security when it comes to usability.

Aiming to measure the information security awareness level of digital wallet users in Indonesia [17], a survey was conducted with 156 participants consisting of digital wallet users. The level of information security awareness was calculated using the analytical hierarchy method. As a result of the study, it was seen that the participants' information security awareness level was generally good (80.78%). However, it was determined that the scores remained at an average level in some focus areas. This situation is thought to be one of the reasons why information security violations against digital wallet users are still common. [18], it analyzed how public officials understand the need for information security in Romanian public administration. The study is based on a survey conducted in three institutions in Romanian public administration. The aim of the survey is to identify vulnerabilities in specific areas such as accessibility management in user interface design, password management, cybersecurity incident prevention, cybersecurity incident response capacity, personal data protection, data backup and recovery, and personal assessment. The study presents conceptual solutions for ensuring information security and states that these solutions are based on the analysis of international documents.

4. Method

This study aims to determine the digital data security awareness (DDSA) of academic, administrative staff and students at Ardahan University. The research universe consists of 7411 people, including 6680 students, 372 academic staff and 359 administrative staff. Curry's (1984) sample size determination rule was used when determining the research sample. According to this method; 100% sample for sample sizes ranging from 10 to 100, 10% sample for sample sizes ranging from 101 to 1000, 5% sample for sample sizes ranging from 1001 to 5000 and 3% sample for sample sizes ranging from 5001 to 10000 is recommended [19]. Based on this method, a survey was conducted online with 324 students and staff at Ardahan University using the convenience sampling method.

The findings obtained within the scope of the research will be evaluated at a significance level of 5% at a 95% confidence interval, and the Jamovi 2.4 program was used for the analyses. Normality analysis was performed before starting the data analysis. In addition to descriptive statistics, confirmatory factor analysis, internal consistency reliability (Cronbach's Alpha, Composite Reliability-CR) and Convergent validity (AVE) were used in the analysis of the data. Whether the digital data security awareness of the participants differed according to gender was determined with the t-test; whether it varies according to age, education level, duty, daily internet and computer usage was tested with One-way analysis of variance (Anova).

The digital data security awareness scale developed by Yılmaz et al. [20], was used in the study. The scale consists of 32 statements and a single dimension. The reliability of the scale, which was rated with a 5-point Likert-type rating (1- Strongly disagree, 2- Disagree, 3- Undecided, 4- Agree, 5- Strongly agree), was found to be high by the researcher (Cronbach's Alpha 0.90).

The research was designed in line with the following questions?

1. What is the level of digital data security awareness of academic staff, administrative staff and students?
2. Do demographic variables (gender, age, educational status, etc.) make a difference on digital data security awareness?
3. Do the positions in the university (academic, administrative, student) make a difference on digital data security awareness?
4. Does daily computer usage time make a difference on digital data security awareness?
5. Does daily internet usage time make a difference on digital data security awareness?

4. Findings

As the first step of the scale analysis, the normal distribution of the data was checked with the Skewness and Kurtosis values. The skewness value being between -2 and +2 and the kurtosis being between -7 and +7 are considered acceptable limits for normal distribution [21].

Table 1. Digital Data Security Awareness

	\bar{X} -SS	α	Skewness	Kurtosis
DDSA	4.09±0.59	0.96	-0.988	2.88

When Table 1 is examined, it is seen that the digital data security awareness of the participants at Ardahan University is above 4 and in good condition. The Cronbach’s Alpha coefficient of the data in the study was found to be 0.96. This value shows that the digital data security awareness scale is reliable. In addition to these results, it is seen that the data has a normal distribution.

Confirmatory factor analysis was applied to determine whether the original structure of the scale used in the research was confirmed by the data collected. The results are shown in Table 2.

Table 2. Result Measurement of Model Assessment.

Factor	Item	Faktor Loading	Standart Error	t	p	AVE	CR	
DVSA	DVSA2	0.664	-	-	-	0.50	0.96	
	DVSA3	0.628	0.083	12.57	***			
	DVSA4	0.622	0.086	10.44	***			
	DVSA7	0.602	0.093	10.13	***			
	DVSA8	0.704	0.092	11.66	***			
	DVSA9	0.684	0.099	11.36	***			
	DVSA10	0.687	0.097	11.42	***			
	DVSA11	0.667	0.089	11.12	***			
	DVSA12	0.561	0.101	9.49	***			
	DVSA13	0.791	0.090	12.90	***			
	DVSA14	0.753	0.087	12.37	***			
	DVSA15	0.818	0.086	13.28	***			
	DVSA16	0.724	0.094	11.96	***			
	DVSA17	0.731	0.092	12.06	***			
	DVSA18	0.792	0.088	12.92	***			
	DVSA19	0.680	0.096	11.30	***			
	DVSA22	0.707	0.093	11.70	***			
	DVSA23	0.738	0.100	12.15	***			
	DVSA24	0.765	0.082	12.54	***			
	DVSA25	0.737	0.090	12.15	***			
DVSA26	0.735	0.089	12.11	***				
DVSA27	0.748	0.092	12.30	***				
DVSA28	0.771	0.090	12.62	***				
DVSA30	0.726	0.091	11.98	***				
DVSA31	0.578	0.100	9.76	***				
DVSA32	0.643	0.099	10.76	***				
	χ^2/DF	CFI	NFI	TLI	GFI	AGFI	RMSEA	SRMR
DVSA	2.04	0.94	0.90	0.94	0.97	0.97	0.05	0.04
Acceptable Fit*	≤ 3	≥ .90	≥ .90	≥ .90	≥ .90	≥ .85	≥ .08	≥ .08
Perfect Fit*	≤ 2	≥ .95	≥ .95	≥ .95	≥ .95	≥ .90	≥ .05	≥ .05

*[22]

When Table 2 is examined, items with factor loadings lower than 0.40 (1, 5, 6, 20, 21, 29) were removed from the scale. When the fit index values were examined after the items were removed, it was seen that the Chi-Square Fit Test (χ^2/DF), Comparative Fit Index (CFI), Tucker-Lewis Fit Index (TLI), Goodness of Fit

Index (GFI) and Adjusted Goodness of Fit Index (AGFI) values were within the perfect fit limits, while the Root Mean Square Error of Approximation (RMSEA) and Standardized Root Mean Square Error of Approximation (SRMR) values were within acceptable limits. In addition to the examination of the structure obtained as a result of CFA, convergent and discriminant validity data were also examined. Accordingly, it is seen that the Average Variance Extracted (AVE) value is higher than 0.50 and the Composite Reliability (CR) value is higher than 0.70. All these results show that the model is compatible with the data, acceptable and reliable.

4.1. Demographic Information

Demographic information of the 324 students, administrative staff and academic staff who participated in the research is given in Table 3 below.

Table 3. Respondent's Demographic Profile

	Characteristics	Frequency	Percentage
Gender	Male	192	59.3
	Woman	132	40.7
Age	18-25	225	69.4
	26-33	66	20.4
	34+	33	10.2
Education Status	Associate degree	169	52.2
	Licence	103	31.8
	Postgraduate	52	16.1
Occupation	Student	240	74.1
	Academic Staff	50	15.4
	Administrative Staff	34	10.5
Daily computer usage time	Less than 1 hour	172	53.1
	1-3 hours	86	26.5
	4-6 hours	45	13.9
	7 hours and over	21	6.5
Daily Internet Usage Time	Less than 1 hour	7	2.2
	1-3 hours	92	28.4
	4-6 hours	144	44.4
	7 hours and over	81	25.0
I have my own computer	Yes	152	46.9
	No	172	53.1
I have a tablet computer	Yes	59	18.2
	No	265	81.8
I have a smartphone	Yes	315	97.2
	No	9	2.8

Of the 324 participants who participated in the study, 59.3% were male and 40.7% were female. When the age distribution was examined, it was seen that 69.4% of the participants were between the ages of 18-25, 20.4% were between the ages of 26-33, and 10.2% were 34 years of age or older. In terms of educational background, more than half of the participants (52.2%) had an associate degree. 31.8% had a licence degree, 16.1% had a postgraduate degree. When the occupational distribution of the participants was examined, it was seen that students were in the majority with 74.1%. Academic personnel came in second with 15.4%, while the rate of administrative personnel was 10.5%. In terms of technology use, 53.1% of the participants used the computer less than 1 hour a day, 26.5% used it for 1-3 hours, 13.9% for 4-6 hours, and only 6.5% used it for 7 hours or more. The daily internet usage time is higher; 2.2% connect to the internet for less than 1 hour, 28.4% for 1-3 hours, 44.4% for 4-6 hours and 25% for 7 hours and more. Based on this data, it can be said that the majority of the participants in the study have an associate degree or undergraduate degree. It can also be said that computer and especially internet use is quite common and the time spent on the internet is also remarkable. In terms of device ownership, 46.9% of the participants had their own computer, 18.2% had a

tablet computer and 97.2% had a smartphone. These data show that digital devices, especially smartphones, are widely used among users

4.2. Descriptive Statistics

Descriptive statistical results related to the data obtained in the study are given in Table 4. In Table 4, the answers given by the participants on the subjects that they consider themselves deficient or self-sufficient are given in order from the highest average to the lowest average.

Table 4. Descriptive Statistics

Item No	Terms	Mean	Std. Dev.
24	I am aware that devices can be password-protected to prevent unauthorised use.	4.29	0.722
2	I know the importance of using letters, numbers and special characters when creating a password.	4.28	0.812
8	I am careful to create passwords that others cannot guess.	4.23	0.769
28	I know that logging in with a single-use password on your mobile phone increases security.	4.22	0.795
14	I know the importance of a high character count when creating a password.	4.20	0.771
4	I realise that files can be password-protected to prevent unauthorised use.	4.20	0.775
8	I know that credential verification messages (password etc.) received by e-mail should not be trusted.	4.19	0.821
25	I am careful not to perform operations that require a password on devices that do not belong to me.	4.18	0.798
15	I realise that storing passwords on any medium is a security risk.	4.17	0.753
13	I know that security questions used for password reminder should be answered in a way that others cannot guess.	4.16	0.788
30	I know the importance of using the 'secure logout' link when logging out of a website.	4.15	0.807
3	I know the importance of using different passwords for different operations.	4.11	0.892
17	I know that the files being worked on should be backed up on more than one medium.	4.10	0.814
26	I pay attention to the security warnings of the operating system (Windows, Android, etc.).	4.09	0.792
22	I realise that passwords need to be changed periodically.	4.09	0.828
11	I know the importance of downloading programs from the manufacturer's own site.	4.06	0.802
27	I know the importance of using laptops with batteries in case of power failure.	4.06	0.819
10	I am careful to delete e-mails that I consider unsafe without opening them.	4.03	0.872
16	I know that data can be stored on the Internet using various applications (Google Drive, etc.).	4.02	0.838
7	I make sure that the operating system (Windows, Android, etc.) is up to date.	4.01	0.844
19	I pay attention to whether the internet address bar is misleading.	3.99	0.858
23	I make a point of marking as 'spam/junk/junk' any rubbish emails that I don't want to receive.	3.95	0.887
32	I am aware that unlicensed software can create security vulnerabilities.	3.94	0.892
9	I know that portable storage units should be scanned for viruses before using them.	3.94	0.890
12	I know the importance of using antivirus software.	3.91	0.925
31	I have knowledge about the security certificates used in websites.	3.80	0.913
General average		4.09	0.591

Among the data used in the study, the data with the highest mean was "I know the importance of using letters, numbers and special characters when creating passwords" with a mean of 4.29+0.72, while the data with the lowest mean was "I have information about security certificates used in websites" with a mean of 3.80+0.91. In this case, it shows that users actually pay attention when creating passwords for information security, but they have insufficient knowledge about security certificates on websites. When Table 4 is examined, it can be said that digital data security awareness is generally at a medium to high level. The average scores range from 4.29 to 3.80. The highest average scores are seen in statements related to basic security measures such as "I am aware that devices can be passworded to prevent unauthorized use" and "I know the importance of using letters, numbers and special characters when creating passwords." This shows that the participants are aware of basic security practices. On the other hand, the average scores are lower in statements related to more technical issues such as "I am aware of the security certificates used on websites" and "I am aware that unlicensed software can create security vulnerabilities." This finding shows that the participants may need more information on these technical issues.

4.3. Test of Difference

The results of the independent samples t-test and ANOVA, conducted to determine whether participants' awareness of digital data security differs based on gender, age, education status, occupation, and daily computer and internet usage duration, are presented in Table 5.

Table 5. Comparison of DVSA according to Socio-demographic characteristics

Variables		N	\bar{x}	SS	Test Value	p	Tukey
Gender	Male	192	4,07	0,55	1,88	0,410	
	Woman	132	4,12	0,65			
Age	18-25 (1)	225	4,03	0,62	5,71	0,005*	3>1
	26-33 (2)	66	4,28	0,48			
	34+ (3)	33	4,12	0,51			
Education Status	Associate degree (1)	169	4,00	0,60	5,82	0,004*	3>2
	Licence (2)	103	4,16	0,62			
	Postgraduate (3)	52	4,25	0,42			
Occupation	Student (1)	240	4,07	0,63	0,88	0,410	
	Academic Staff (2)	50	4,11	0,45			
	Administrative Staff (3)	34	4,19	0,48			
Daily computer usage time	Less than 1 hour (1)	172	3,98	0,61	7,22	0,001*	4,3,2>1
	1-3 hours (2)	86	4,25	0,60			
	4-6 hours (3)	45	4,26	0,44			
	7 hours and over (4)	21	4,26	0,44			
Daily Internet Usage Time	Less than 1 hour (1)	7	4,22	0,63	2,07	0,095	
	1-3 hours (2)	92	4,08	0,57			
	4-6 hours (3)	144	4,01	0,60			
	7 hours and over (4)	81	4,23	0,59			

In order to compare the digital data security scale scores according to the sociodemographic characteristics of the participants, independent t-test was applied for the comparison of two independent groups and one-way analysis of variance was applied for the comparison of more than two independent groups. As a result of the analysis, it was determined that there was a statistically significant difference between the participants' age, job, daily computer usage time and digital data security awareness scale scores ($p < 0.05$). Tukey test was performed to determine the group that made a difference, and it was determined that the digital data security awareness score of 34+ participants was higher than the participants aged 18-25. It was determined that administrative staff had a higher digital data security awareness score than students, and those with a daily computer usage time of more than 1-3 hours had a higher digital security awareness than those with less than 1 hour.

When the age variable is examined, it is seen that the digital data security awareness of the participants aged 34 and above is higher than the participants aged 18-25 ($p < 0.005$). This situation can be associated with the increase in experience and knowledge as age progresses. In terms of the education status variable, it was determined that the participants with postgraduate degrees have a higher awareness level than the participants with associate degrees ($p < 0.010$). This finding shows that the development of knowledge and skills with the increase in the level of education also positively affects the digital data security awareness. It was observed that as the daily computer use time increases, the digital data security awareness also increases ($p < 0.001$).

The participants who use the computer for 7 hours and more have a higher awareness level than those who use the computer for less than 1 hour. This result can be interpreted as the intensity of computer use increases the familiarity with the risks and security measures in the digital environment. In general, it was

seen that variables such as age, education status and daily computer use time significantly affect the digital data security awareness level. Therefore, it can be said that customized training and awareness programs should be developed according to the needs of different groups.

5. Conclusion

According to the data obtained, age, position and computer usage time are seen as effective factors on digital security awareness. It is concluded that the digital security awareness of young people between the ages of 18-25 is lower than other age groups. This situation can be explained by the fact that young people trust technology much more and their digital literacy skills are less developed than other age groups. Similar results are observed in other studies [14], [16]. Academic and administrative staff were found to have higher digital security awareness than students. Since academic and administrative staff interact much more with digital data due to the nature of their work, they bear more responsibility for data security. The study also concluded that as the duration of computer use increases, the level of digital data security awareness also increases. Similar results are observed in other studies [20]. The higher digital security awareness of users whose computer time is more than 1-3 hours can be interpreted as more intensive computer use may expose users to security risks more and therefore encourage them to learn more about security measures. One of the important findings of the study is that increasing the level of education also increases the level of digital data security awareness. Göldağ [12] and Ng [23], also obtained similar results regarding education levels in their study. This situation can be explained by the fact that individuals' information access and evaluation skills improve with the increase in education level, and therefore they become more conscious about digital data security. In the study, the statement "I know the importance of using antivirus software" is one of the statements with the lowest average. Tarhan [15], in a study conducted with pharmacy students, it was found that students who had an antivirus program on their smartphones had higher awareness of digital data security. This finding can be interpreted as the use of security software increases digital data security awareness and makes people more sensitive to security measures.

In conclusion, in order for our university to successfully complete its digital transformation and create a secure digital environment, it is necessary to increase and improve the digital data security awareness of the personnel. For this purpose, with the implementation of suggestions such as organising trainings for different user groups, including current threats and protection methods, and conducting information campaigns on various platforms (website, social media, newsletters, etc.) to raise awareness about digital data security, digital data security awareness at our university will increase significantly and a safer digital environment will be created.

Acknowledgements

There is no financial support.

Conflict of Interest Statement

There is no conflict of interest as there is only one author.

References

- [1] PandaSecurity, "What is Digital Security?", PandaSecurity, 2024. [Online]. Available: <https://www.pandasecurity.com/en/mediacenter/what-is-digital-security/>. [Accessed: Oct. 20, 2024].
- [2] Novarge, "What is Digital Information Security?", Novarge, 2024. [Online]. Available: <https://www.novarge.com.tr/blog/>. [Accessed: Oct. 15, 2024].
- [3] R. Hassan, W. Wahi, N. H. A. Ismail, and S. A. B. Awwad, "Data Security Awareness in Online Learning," *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, vol. 13, no. 4, pp. 276–282, 2022, doi: 10.14569/IJACSA.2022.0130432.
- [4] M. A. Özerbaş, A. Mayrambeg Kizi, and B. N. Safi, "Kırgızistan'daki Üniversite Öğrencilerinin Dijital Veri Güvenliği Farkındalık Düzeyleri TT - Digital Data Security Awareness Levels of University Students in Kyrgyzstan," *Türk Eğitim Bilimleri Dergisi*, vol. 21, no. 1, pp. 383–401, 2023, [Online]. Available: <https://doi.org/10.37217/tebd.1193412%0Ahttps://dergipark.org.tr/en/download/article-file/2726118>

- [5] N. Selwyn, "Data entry: towards the critical study of digital data and education," *Learning, Media and Technology*, vol. 40, no. 1, pp. 64–82, 2015, doi: 10.1080/17439884.2014.921628.
- [6] G. Cascavilla, M. Conti, D. Frison, and A. Surian, "Data Security Awareness: metodi e strumenti per promuoverla nella scuola secondaria. Il caso del progetto Edu4Sec," *Media Education*, vol. 8, pp. 276–284, 2017, doi: 10.14605/MED821709.
- [7] A. Anil, V. K. Shukla, and V. P. Mishra, "Enhancing Data Security Using Digital Watermarking," *Proceedings of International Conference on Intelligent Engineering and Management, ICIEM 2020*, pp. 364–369, 2020, doi: 10.1109/ICIEM48762.2020.9160090.
- [8] P. Yang, N. Xiong, and J. Ren, "Data Security and Privacy Protection for Cloud Storage: A Survey," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 131723–131740, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3009876.
- [9] M. B. Mollah, M. A. K. Azad, and A. Vasilakos, "Security and privacy challenges in mobile cloud computing: Survey and way ahead," *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 84, no. September 2016, pp. 38–54, 2017, doi: 10.1016/j.jnca.2017.02.001.
- [10] J. Zhang, B. Chen, Y. Zhao, X. Cheng, and F. Hu, "Data Security and Privacy-Preserving in Edge Computing Paradigm: Survey and Open Issues," *IEEE Access*, vol. 6, no. Idc, pp. 18209–18237, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2820162.
- [11] E. M. Redmiles, A. R. Malone, and M. L. Mazurek, "I Think They're Trying to Tell Me Something: Advice Sources and Selection for Digital Security," *Proceedings - 2016 IEEE Symposium on Security and Privacy, SP 2016*, pp. 272–288, 2016, doi: 10.1109/SP.2016.24.
- [12] B. Göldağ, "Investigation of the Relationship between Digital Literacy Levels and Digital Data Security Awareness Levels of University Students," *e-International Journal of Educational Research*, vol. 12, no. 3, pp. 82–100, 2021, [Online]. Available: <https://dergipark.org.tr/tr/doi/10.19160/e-ijer.950635>
- [13] E. Akman, Ö. İdil, and R. Çakır, "An Investigation into the Levels of Digital Parenting, Digital Literacy, and Digital Data Security Awareness among Parents and Teachers in Early Childhood Education," *Participatory Educational Research*, vol. 10, no. 5, pp. 248–263, 2023, doi: 10.17275/per.23.85.10.5.
- [14] A. Durak and H. Kaygin, "Parental mediation of young children's internet use: Adaptation of parental mediation scale and review of parental mediation based on the demographic variables and digital data security awareness," *Education and Information Technologies*, vol. 25, no. 3, pp. 2275–2296, 2020, doi: 10.1007/s10639-019-10079-1.
- [15] N. Tarhan, "Digital Data Security Awareness: A Study with Pharmacy Students," *Fabad Journal of Pharmaceutical Sciences*, vol. 47, no. 2, pp. 193–200, 2022, doi: 10.55262/fabadeccacilik.1134564.
- [16] V. Gkioulos, G. Wangen, S. K. Katsikas, G. Kavallieratos, and P. Kotzanikolaou, "Security awareness of the digital natives," *Information (Switzerland)*, vol. 8, no. 2, pp. 1–13, 2017, doi: 10.3390/info8020042.
- [17] A. L. Fadhilah, Y. Ruldeviyani, R. Prakoso, and K. F. Arisya, "Measurement of Information Security Awareness Level: A Case Study of Digital Wallet Users," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 1077, no. 1, p. 012003, 2021, doi: 10.1088/1757-899x/1077/1/012003.
- [18] D. Banciu, M. Rădoi, and S. Belloiu, "Information security awareness in Romanian public administration: An exploratory case study," *Studies in Informatics and Control*, vol. 29, no. 1, pp. 121–129, 2020, doi: 10.24846/v29i1y202012.
- [19] A. Altunışık, R., Boz, H., Gegez, E., Koç, E., Sığırı, Ü., Yıldız, E., & Yüksel, "Sosyal bilimlerde araştırma yöntemleri: Yeni perspektifler," *Seçkin Yayıncılık*, 2022.
- [20] E. Yılmaz, Y. L. Şahin, and Y. Akbulut, "Development of the Digital Data Security Awareness Scale," *AJIT-e Online Academic Journal of Information Technology*, pp. 23–40, 2015, doi: 10.5824/1309-1581.2015.4.002.x.
- [21] R. B. Kline, "Principles and Practice of Structural Equation Modeling," *Guilford publications*, 2023.

- [22] K. Böke, "Sosyal Bilimlerde Araştırma," *Sosyal Bilimlerde Araştırma Yöntemleri*, vol. 226, pp. 253–290, 2009.
- [23] W. Ng, "Can we teach digital natives digital literacy?," *Computers and Education*, vol. 59, no. 3, pp. 1065–1078, 2012, doi: 10.1016/j.compedu.2012.04.016.



Research Article

Supervised Mobile Digital Examination System: Technological Components Proposal

Serkan Yıldırım¹*, Arif Daş², Mehmet Cem Bölen³, Ömer Arpacık¹, Orhan Çeliker³, Mustafa Akbuğa², Eda Tör³

¹ Department of Computer and Educational Technologies Education, Kazım Karabekir Faculty of Education, Atatürk University, 25240, Yakutiye, Erzurum, Türkiye

² Department of Computer Technologies, Vocational School of Technical Sciences, Atatürk University, 25240, Yakutiye, Erzurum, Türkiye

³ Faculty of Open and Distance Education, Atatürk University, 25240, Yakutiye, Erzurum, Türkiye

* Correspondence: serkanyildirim@atauni.edu.tr

Received: 29 November 2024; Accepted: 25 December 2024; Published: 31 December 2024

Abstract: The aim of this research is to reveal the basic structure of a digital and mobile exam system that has the potential to digitize proctored exams and diversify exam processes and assessment methods. For this purpose, it was tried to determine the question alternatives that can be used in mobile digital exams and to reveal what the software components of an environment-independent mobile exam system could be. During the research process, workshops were held with field experts and the results of these workshops were reported. The qualitative research design was used in the research and the case study method was preferred and the data collection process was carried out by analyzing documents and workshop records. The results of the study revealed that questions containing multimedia elements in digital mobile exam systems can be used in the assessment of cognitive and psychomotor skills. In addition, it was determined that for a mobile digital exam system, software based on organizational structure modules and exam modules should be developed in a way that can work independently of hardware and operating systems.

Keywords: Mobile examination system, digital exams, measurement and evaluation

Araştırma Makalesi

Gözetim Altında Gerçekleştirilecek Mobil Dijital Sınav Sistemi: Teknolojik Bileşenler Önerisi

Öz: Bu araştırmanın amacı; gözetim altındaki sınavları dijitalleştirecek, sınav süreçlerinin ve ölçme değerlendirme yöntemlerinin çeşitlenmesini sağlama potansiyeli olan dijital ve mobil bir sınav sisteminin temel yapısının nasıl olabileceğini ortaya çıkarmaktır. Bu amaç doğrultusunda mobil dijital sınavlarda kullanılabilecek soru alternatiflerinin belirlenmesi ve ortam bağımsız bir mobil sınav sisteminin yazılım bileşenlerinin neler olabileceği ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır. Araştırma sürecinde alan uzmanları ile çalıştaylar gerçekleştirilmiş ve bu çalıştayların sonuçları raporlanmıştır. Araştırmada nitel araştırma deseni kullanılmış ve durum çalışması yöntemi tercih edilerek doküman ve çalıştay kayıtlarının analizi ile veri toplama süreci gerçekleştirilmiştir. Araştırma sonuçları dijital mobil sınav sistemlerinde çoklu ortam öğelerini içeren soruların bilişsel ve psikomotor becerilerin değerlendirilmesinde kullanılabileceğini ortaya çıkarmıştır. Ayrıca mobil bir dijital sınav sistemi için organizasyonel yapı modülleri ve sınav modülleri temelinde yazılımların donanım ve işletim sistemlerinden bağımsız çalışabilecek şekilde geliştirilmesi gerektiği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Mobil sınav sistemi, dijital sınavlar, ölçme ve değerlendirme

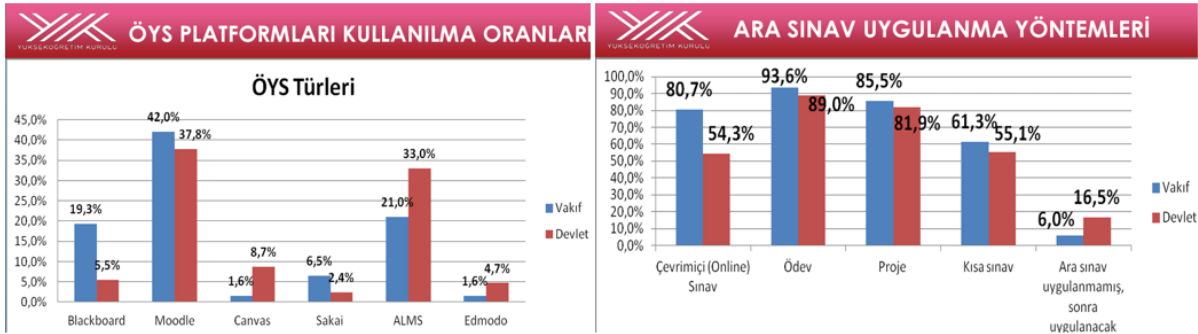
Citation: S. Yıldırım, A. Daş, C. Bölen, Ö. Arpacık, O. Çeliker, M. Akbuğa, and E. Tör, "Supervised Mobile Digital Examination System: Technological Components Proposal", *Journal of Studies in Advanced Technologies*, vol. 2, no. 2, pp. 120-135, Dec 2024, doi: 10.63063/jsat.1592992

1. Giriş

Bilişim teknolojilerindeki gelişmeler ve kullanımının yaygınlaşması, çevrimiçi kursların ve haliyle çevrimiçi sınavların yaygınlaşmasına sebep olmuştur [1]. Pandemi dönemindeki eğitim süreçlerinde ise zorunlu olarak uzaktan eğitime geçilmesi dijital ortamlardaki öğretim faaliyetlerinin önemini tekrar gün yüzüne çıkarmıştır. Bu durum alanyazında kendine yer bulmuş ve zorunlu olarak değiştirilen sisteme yönelik öğrenci algıları, öğrenci kaygıları ve süreç yönetimini ele alan çalışmalara odaklanılmıştır [2], [3], [4].

Dijital ortamlarda yürütülen öğretim faaliyetlerin temel bileşenlerinden biri de dijital sınavlardır. Bu sınavlar geleneksel ölçme değerlendirme sürecini yürütmek için gerekli olan tüm işlem adımlarının dijital ortamlarda gerçekleştirilmesi ile hayata geçirilen sınavlardır [5]. Diğer bir ifade ile dijital sınavlar ölçme ve değerlendirmeyi kolaylaştırmak, güvenli hale getirmek ve hızlı değerlendirmeler yapabilmek için bilgisayar teknolojisini kullanan uygulamalardır [6], [7]. Bir veya birden fazla ders için belirli bir zaman aralığında yürütülen dijital sınavlar, gözetimsiz, insan gözetiminde veya dijital gözetim altında hayata geçirilebilir. Ayrıca dijital sınavlar, kâğıt-kalem sınavlarda gerçekleştirilebilecek tüm süreçlerin yanında çoklu ortam öğelerinin de sınav süreçlerine dahil edilebileceği [6] daha esnek bir ölçme ortamı oluşturma yetkinliğine de sahiptirler.

Dijital sınavlar kendileri için hazırlanmış özel platformlarda veya uzaktan eğitim faaliyetlerinin yürütüldüğü Öğretim Yönetim Sistemlerinin (ÖYS) bir modülü olarak karşımıza çıkmaktadır. ÖYS'ler hem uzaktan eğitimin gerçekleştirilmesi ve hem de ölçme değerlendirme süreçlerinin yürütülmesini sağlayan bütünlük sistemleri olarak karşımıza çıkmaktadır [8]. ÖYS sistemlerinin içerisinde bulunan dijital sınav modülleri öğrencilerin zaman ve mekân bağımsız olarak sınava girmelerine imkân verir ve esneklik sağlar [9]. Bu özellikleri ile ülkemizdeki bütün üniversiteler öğretim süreçlerinin yürütülmesinde ve ölçme değerlendirme faaliyetlerinde ÖYS sistemlerini kullanmaktadırlar. Şekil 1'de YÖK [10] tarafından pandemi sürecinde Türkiye'deki üniversitelerde kullanılan ÖYS sistemleri ve ölçme-değerlendirme anlayışları yer almaktadır.



Şekil 1. YÖK Üniversitelerin Uzaktan Öğretim Uygulamaları Anket Sonuçları

Günümüzde kullanımı giderek yaygınlaşan ve ölçme değerlendirme süreçlerine esneklik getiren dijital sınavların avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Alan yazında dijital sınavların öğrenci açısından anında geribildirim alma, öğrenme sürecini izleyebilme, kavram yanlışları ve eksik öğrenmeleri belirleyebilme, eksiklikleri giderme, öğrenme sürecini destekleme, etkili zaman kullanımı ve sürekli sınavlara erişim avantajlarının olduğunu ifade edilmektedir [11]. Bununla birlikte kâğıt temelli sınavlardan ziyade çevrim içi sınavlarda öğrencilerin adalet algılarını daha yüksek, streslerinin ise daha düşük olduğu belirtilmiştir [2]. Ayrıca dijital sınavların öğrenciler arasındaki kabul ve tercih durumu yüksektir [12], [13]. Yağcı [14], çevrimiçi sınavların öğrencilerin akademik başarı seviyelerine daha fazla katkı sağladığını belirtmiştir. Ayrıca alan yazındaki çalışmalarda çevrimiçi sınavların iç tutarlılık açısından olumlu faydalarının olduğu ve uygulama sınavlarında da kâğıt kalem testleri ile çevrimiçi sınavlar arasında göz ardı edilebilecek seviyede fark olduğu vurgulanmıştır. Bu durumda çevrimiçi sınavlar geçerlilik konusunda kâğıt kalem sınavları için ideal bir alternatif olarak düşünülebilir [3]. Bununla birlikte değerlendirme süreçlerinde çeşitlendirilmiş içeriklere sahip çevrimiçi sınavların ayırım gücünün daha yüksek olduğu belirtilmektedir [15].

Dijital sınavların avantajlarının yanında çeşitli dezavantajları da bulunmaktadır. Alanyazın incelemelerinde çalışmaların yoğunlukla çevrimiçi sınavlardaki güvenlik zafiyetlerine ve çözüm önerileri için

geliştirilen modellere odaklandığı görülmektedir. Benzer koşullarda gerçekleştirilen kâğıt-kalem sınavlarının değerlendirme bakımından çevrimiçi sınavlardan farklılık göstermediği, fakat sınavların gözetim altında yapılmasının katılımcıların değerlendirilmesi sürecinde gözle görülür bir farklılığa sahip olduğu belirtilmektedir [15]. Hylton ve arkadaşları [16] çevrimiçi sınavlarda güvenlik sistemlerinin suistimal edildiğini öne sürmüş ve yine çevrimiçi yürütülen gözetmenlik görevlerinin de verimli olmadığını savunmuştur. Ayrıca gözetimsiz yürütülen sınavlarda ise öğrencilerin ve öğretmenlerin adalet algılarının düşük olduğu ve kopya ihtimallerinin yüksek olduğu belirlenmiştir [16], [17], [32].

Nihayetinde dijital sınavlar için kâğıt – kalem temelli sınavlara oranla öğrenenlere yönelik derinlemesine analizlerin yapılabileceği ve öğrenme çıktılarının iyileştirilebileceği söylenebilir [18]. Bununla birlikte mevcut dijital sınavlarda yaşanan problemlerin giderilmesine yönelik çözümlerin üretilmesinin de önemli olduğu görülmektedir. Bu noktadan hareketle bu çalışmada insan gözetmelerin sağlamış olduğu güvenlik algısını koruyarak, dijital sınavların sağlamış olduğu avantajları kullanabilecek mobil bir dijital sınav sisteminin nasıl olması gerektiği sorusuna yanıt aranmıştır. Çalışmada odaklanılan araştırma soruları şöyledir;

Araştırma soruları

1. Mobil ve dijital bir sınav sisteminde kullanılabilir soru türleri nelerdir?
2. Mobil ve dijital bir sınav sisteminin yapısı nasıl olmalıdır?

2. Yöntem

Bu çalışmada nitel araştırma yöntemlerinden biri olan durum çalışması tercih edilmiştir. Nitel araştırma bir durum, olgu veya algıların kendi doğal ortamında derinlemesine araştırılmasına imkân tanımaktadır [19]. Nitel araştırmalar katılımcılardan alınan bilgilerin derinlemesine algılanması, yorumlanması ve analizine olanak sağlamaktadır [20]. Durum çalışması, sınırlı bir sistemin derinlemesine betimlenmesi ve incelenmesi olarak tanımlanmaktadır [21]. Durum çalışmaları bir sorun hakkında bir genelleme üzerinde yeniden durmak ve bir durum hakkında fikir geliştirmek için yapılmaktadır [21].

2.1. Çalışma Grubu

Çalışma grubu 10 alan uzmanından oluşmaktadır. Amaca uygun örneklem yöntemi ile çalışma grubu oluşturulmuştur. Amaca uygun örneklemede, araştırmacı ilgili evrenin özelliklerini belirleyerek, bu özelliklere sahip bireyleri örnekleme almaya çalışır [22]. Diğer bir ifade ile amaca uygun örnekleme, araştırmacının evren ile ilgili kendi bilgilerine veya çalışmanın amacına bağlı olacak şekilde olasılıksız örnekleme yapmasıdır [23]. Örneklem seçiminde örnekleme dahil edilecek katılımcılar uzaktan öğretim sürecinde ölçme ve değerlendirme faaliyetlerinin yürütülmesi, sınav hazırlık sürecinin organize edilmesi ve süreç tasarımı açısından en az 5 yıllık deneyime sahip akademisyenlerden oluşacak şekilde belirlenmiştir. Ayrıca çalışma grubunun üyelerinin tamamı doktora derecesine sahip olan akademisyenlerden oluşmaktadır. Çalışma grubunda yer alan uzmanların bilgileri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Çalışma grubu özellikleri

Katılımcı kodu	Cinsiyet	Uzmanlık alanı	Uzmanlık Süresi (Yıl)	Dijital sınav hazırlama deneyimi
K1	E	Açık ve Uzaktan Öğretim	15	Evet
K2	E	Öğretim Teknolojileri	10	Evet
K3	E	Bilgisayar Programcılığı	12	Evet
K4	E	Yönetim Bilişim Sistemleri	11	Evet
K5	E	Yönetim Bilişim Sistemleri	8	Evet
K6	K	İletişim	9	Evet
K7	K	Bilgisayar ve Öğretim Teknolojileri	9	Evet
K8	K	Bilgisayar ve Öğretim Teknolojileri	13	Evet
K9	E	Bilgisayar Mühendisliği	14	Evet
K10	E	Açık ve Uzaktan Öğretim	11	Evet

2.2. Araştırma Yapısı

Bu çalışmada araştırma grubunun deneyimini ortaya çıkarmak üzere çalıştay yöntemi kullanılmıştır. Araştırma kapsamında odaklanılan durumun çerçevesinin belirlenmesi, dijital ortamlarda gerçekleştirilecek olan sınavların ve bu sınavlarda kullanılacak soru türlerinin uzmanların onay birliği neticesinde ortaya çıkarılarak bulguların oluşturulması amaçlanmıştır. Veri toplama süreci çalıştaylar odağında gerçekleştirilmiş ve uzman görüşleri bir araya getirilerek sonuçlar oluşturulmuştur. Çalıştaylar 2021 yılı içerisinde Atatürk Üniversitesi'nde gerçekleştirilmiştir. Çalıştaylar katılımcıların tamamının onayları alınarak 02/07/2021 ve 16/07/2021 tarihlerinde 14 gün ara ile yürütülmüştür.

2.3. Çalıştay Tasarımı

Bu çalışmada 2 farklı çalıştay düzenlenmiştir. Çalıştayların gerçekleştirilmesi için temel bir yaklaşım belirlenmiştir. Bu yaklaşımda;

- Araştırmacılar tarafından alanyazın çerçevesinde odaklanılan araştırma sorusuna yönelik bilgilendirme belgeleri oluşturma ve katılımcılara sunma,
- Araştırmacılar tarafından bilgilendirme belgelerinin sunumunu gerçekleştirme,
- Katılımcıların görüşlerini sunmalarına yönelik anlatım seansları gerçekleştirme,
- Araştırmacılar tarafından anlatım seansları ve bilgilendirme belgeleri temelinde taslak çalıştay raporunu oluşturma ve katılımcılara sunum,
- Çalıştay raporunun katılımcılar tarafından ortaklaşa düzenlenmesi ve nihai çalıştay raporunun oluşturulması adımları yer almaktadır.

Araştırma kapsamında gerçekleştirilen çalıştayların odakları birbirinden farklıdır. Bu noktada çalıştaylar; Ölçme-Değerlendirme Çalıştayı ve Sistem Yazılımı Tasarım Çalıştayı olarak isimlendirilmiş ve şu şekilde gerçekleştirilmiştir;

1. Aşama (Ölçme-Değerlendirme Çalıştayı):

- a. Sınav sisteminde kullanılacak muhtemel soru yapılarının ve kullanım kriterlerinin belirlenmesi
- b. Kullanılacak soru tiplerinin ortaya çıkarılması
- c. Her bir soru tipi için kullanım kriterlerinin (soru hazırlama, kullanma ve değerlendirme kriterleri) belirlenmesi

2. Aşama (Sistem Yazılımı Tasarım Çalıştayı):

- a. Sistemin yapısının nasıl olması gerektiğine yönelik analizler
- b. Sistemin genel yapısı ve işleyişi, sistemi oluşturan ekranlar ve ilişkileri
- c. Muhtemel veri tabanı yapısının tasarım önerileri

2.4. Veri Toplama Araçları ve Veri Toplama Süreci

Veri toplama sürecinde farklı veri toplama araçlarından faydalanılmıştır. Veri yapıları ve kullanım şekilleri şöyledir;

- Doküman: Alanyazında yer alan çalışmaların analizi ve çalıştaylarda uzmanlar tarafından oluşturulan dokümanlardan elde edilen veriler.
- Çalıştay Kayıtları ve Görüşmeler: Çalıştay sürecinde uzmanların bireysel veya grup olarak aktardıkları bilgileri içeren araştırmacıların notları ile sisteme yönelik öneri ve görüşlerinin kayıtları.

Veri toplama süreci çalıştaylar esnasında gerçekleştirilmiştir. Çalıştay süreçlerinde araştırmacılar katılımcıların görüşlerini, açıklamalarını ve önerilerini kayıt altına almışlardır. Ayrıca çalıştaylar esnasında katılımcıların oluşturmuş oldukları dokümanlar veya çalıştay öncesi hazırlanan bilgilendirme notları üzerinde yapmış oldukları düzenlemeler alınarak veri setine dahil edilmiştir. Çalıştaylar esnasında bu veriler anlık olarak araştırmacılar tarafından bir araya getirilmiş ve çalıştayın taslak raporları oluşturularak uzmanlara

sunulmuştur. Böylece taslak çalıştay raporu oluşturularak yeniden katılımcılara sunulmuş ve nihai görüşlerini tekrar ortaya koyarak elde edilen verilerin teyidi gerçekleştirilmiştir.

2.5. Verilerin Analizi

Nitel araştırma yöntemleri kapsamında elde edilen nitel veriler içerik analizi yöntemi ile analiz edilmiştir. İçerik analizinde benzer veriler; belirlenen kavramlar ve temalar çerçevesinde bir araya getirilerek yorumlanmaktadır [19]. Çalıştaylar neticesinde elde edilen veriler içerik analizi ile değerlendirilmiş ve bulgular oluşturularak raporlanmıştır. Araştırma sonucunda elde edilen bulgular araştırma soruları bağlamında raporlanarak sunulmuştur.

3. Bulgular

Bulgular araştırma soruları bağlamında ele alınarak sunulmuştur. Ayrıca her bir araştırma sorusu bir çalıştay konusu olduğu için bu anlayış tercih edilmiştir.

3.1. Mobil ve dijital bir sınav sisteminde kullanılabilir soru türleri nelerdir?

Mobil sınav sistemlerinde kullanılabilir soru tiplerinin yapısını belirlemeye yönelik gerçekleştirilen Ölçme-Değerlendirme Çalıştayına 8 alan uzmanı katılmıştır. Çalıştay sürecinde mobil cihazların yetkinlikleri dikkate alınarak gözetim altında gerçekleştirilebilecek sınavlarda kullanılabilir soru tipleri ve taksonomik olarak kullanılacakları düzeylerin neler olabileceğine ilişkin görüşleri sorulmuştur. Çalıştay öncesinde araştırmacılar tarafından alanyazın incelemesi gerçekleştirilmiş ve mobil sınavlarda kullanılabilir soru tipleri ile ilgili bir liste oluşturulmuştur. Soru tiplerinin tercihinde bireysel ve kitlesel boyutta gerçekleştirilecek sınavlar baz alındığında kullanılabilir soru tiplerinin seçimine özen gösterilmiştir. Oluşturulan listede yer alan soru tipleri şunlardır;

- **Açık uçlu sorular:** Cevabının öğrenciler tarafından kendi görüşleri çerçevesinde oluşturulabildiği sorulardır.
- **Sözlü yoklamalar:** Cevabının öğrencinin düşünme ve sözel olarak yanıtlama becerileri üzerinden verildiği sorulardır.
- **Kısa cevaplı sorular:** Cevabının birkaç kelime ve cümle ile yanıtlanabildiği sorulardır.
- **Eşleştirme maddeleri:** Cevabının eşleştirme yapılarak (sürükle bırak veya işaretleme) verilebilen sorulardır.
- **Doğru-yanlış tipi sorular:** Cevabının doğru veya yanlış seçeneklerinden biri ile verilebilecek sorulardır.
- **Çoktan seçmeli sorular:** Cevabının seçenekler arasında yer aldığı ve öğrencinin seçeneklerden birini işaretleyerek yanıtladığı sorulardır.
- **Uygulama veya anlatım isteyen sorular:** Cevabının bir uygulama sürecini video, ekran kaydı vb. araçlar kullanarak yanıtlayabildiği sorulardır.
- **Ürün geliştirmeye yönelik sorular:** Cevabının dijital araçlar kullanılarak veya uygulamalar kullanılarak ürettikleri ürünler üzerinden verilebilen sorulardır.

Çalıştay kapsamında katılımcılar listede yer alan tüm soru tiplerinin bireysel veya kitlesel olarak düşünülen sınavlarda farklı düzeylerde kullanılabilirliğini ifade etmektedirler. Özellikle uygulama veya anlatım isteyen sorular ile ürün geliştirmeye yönelik soruların daha çok bireysel sınavlarda daha etkin bir şekilde kullanılabilirliği görüşü hakimdir. Ayrıca kitlesel sınavlarda uygulama veya anlatım isteyen sorular ile ürün geliştirmeye yönelik soruların kullanımının sınav sürecini olumsuz yönde etkileyebileceği, sınav düzenini bozulabileceği yönünde görüşler bulunmaktadır. Bu duruma yönelik örnek katılımcı görüşleri şöyledir;

K8-(Uygulama ve Anlatıma Yönelik Sorular): Dijital teknolojiler ile sınavlarda öğrencilerin uygulama yapmasına veya bir süreci anlatacak şekilde içerikler üretmesi mümkündür, fakat bu tür yanıtları sınıf ortamında oluşturduklarına diğer öğrencilerin dikkatlerini dağıtabilir veya sınıf düzenini bozabilir.

K5-(Uygulama ve Anlatıma Yönelik Sorular): Bu tür sorular bireysel sınavlarda kullanılabilir. Kitlel sınavlarda böyle bir soruyu yanıtlamak mümkün olmaz.

Çalıştay kapsamında katılımcılar, soru tiplerinin yanında sorularda kullanılacak çoklu ortam öğelerinin de olabileceğini belirtmektedirler. Özellikle görsellerin, ses ve video gibi çoklu ortam öğelerinin sınav sorularına dahil edilebileceğini belirtmektedirler. Çoklu ortam öğeleri ile daha açıklayıcı soruların oluşturulabileceğini ifade etmektedirler. Ayrıca ses ve video gibi çoklu ortam öğelerinin kitlel sınavlarda kullanımında mobil cihazlara takılacak olan kulaklıklara ihtiyaç olduğunu belirterek. Sınav düzenini bozulmaması adına kulaklık kullanımının etkin bir çözüm yolu oluşturabileceği görüşünde birleşmektedirler. Çalıştay sürecinde soru tiplerinin kullanımına yönelik görüşlerini belirten örnek katılımcı ifadeleri şöyledir;

K4-(Açıkçulu Sorular): Hem sınıfta hem de online sınavlarda kullanılmasının uygun olduğunu düşünüyorum. Sözel içerikli derslerde kullanılabilir.

K2-(Sözlü Yoklamalar): ... Öğrenciler mikrofon aracılığıyla cevaplarını iletebilirler ...

K3-(Eşleştirme Maddeleri): Çevrimiçi sınavlarda kullanılmasının uygun olduğunu düşünüyorum. Dijital ortamda sürükle-bırak yapabilmek gibi imkanların olması bu soru tipini uygulanabilir yapmaktadır.

K4-(Uygulama veya Anlatıma Yönelik Sorular): Çevrimiçi sınavlarda kullanılmasının uygun olduğunu düşünüyorum. Cevaba yönelik fotoğraf veya video yüklemek zaten dijital ortamda yapılan bir sınavın öğrenciye sağlayacağı en büyük avantajdır.

K1(Ürün Geliştirmeye Yönelik Sorular): Öğrencinin bir video ile anlatması isteniyorsa bu üst seviye bilgiler ölçmek için olmalıdır. Ve sadece online olarak kullanılması daha doğrudur.

Çalıştay kapsamında mobil sınavlarda kullanılacak soru tiplerinin bilişsel ve psikomotor beceriler özelinde hangi taksonomik düzeylerde kullanılabilmesine yönelik katılımcıların görüşleri alınmıştır. Uzmanların görüşlerine yönelik frekans değerleri Tablo 2’de sunulmuştur.

Tablo 2. Soru tipleri tercihleri frekans tablosu

Alan	Basamak	Soru Tipleri							
		Açık Uçlu	Sözlü	Kısa Cevap	Eşleştirme	Doğru Yanlış	Çoktan Seçmeli	Uygulama veya Anlatım	Ürün Geliştirme
Bilişsel	Bilgi	7	8	8	8	8	8	4	4
	Kavrama	6	7	6	7	5	7	5	4
	Uygulama	4	5	2	2	2	3	8	7
	Analiz	8	7	2	3	2	3	7	8
	Sentez	7	5	3	2	3	3	7	8
	Değerlendirme	7	5	2	4	2	3	5	7
Psikomotor	Algılama	6	6	5	7	7	7	4	4
	Kurulma	2	5	4	-	2	3	4	4
	Kılavuzluk Yapma	-	4	2	-	2	-	7	5
	Mekanikleşme	1	2	2	1	2	2	6	7
	Beceri Haline Getirme	4	2	-	2	-	-	7	7
	Duruma Uyarılama	3	2	-	-	-	-	6	7
	Yaratma	3	4	-	-	-	-	7	7
Uygulama Şekli	Online	7	6	6	6	6	6	7	8
	Gözetim altında	8	7	6	7	7	8	4	5

Çalıştay kapsamında katılımcılar mobil dijital sınav ortamlarında bilişsel ve psikomotor becerilerin dijital teknolojiler ve çoklu ortam öğelerinin birlikte kullanımı ile ölçülebileceğini ifade etmektedirler. Özellikle kitlesel yapıdaki sınavların yanında bireysel olarak gerçekleştirilecek dijital sınavlarda üst düzey yetkinliklerin ölçülebileceğine yönelik katılımcı görüşleri yer almaktadır. Gerekli yazılımların geliştirilmesi, uygun algoritmaların belirlenmesi ve yapay zekâ araçlarının ölçme değerlendirme sürecine dahil edilmesiyle birlikte geniş bir yelpazede değerlendirme yapılabileceği görüşü genel kanı olarak ortaya çıkmaktadır. Ayrıca çalıştay kapsamında belirlenen soru türlerinin hem çevrimiçi ortamlarda hem de özelleştirilmiş gözetim altındaki dijital sınavlarda benzer şekilde kullanılacağı katılımcıların soruların uygulama şekli tercihlerinden anlaşılabilir. Mobil dijital sınavlarda kullanılacak soru yapılarına yönelik örnek katılımcı görüşleri şöyledir;

K7-(Bilişsel alan): *Bilişsel alana yönelik olarak çalıştayda konuştuğumuz soru tiplerinin kullanımının mümkün olduğunu düşünüyorum. Ayrıca uygulama ve ürün geliştirmeye yönelik birden fazla bilişsel alan becerisinin bir arada kullanılacağı sorular için dijital sınavların çok daha fazla alternatif sunacak bir yapıda olabileceğini öngörmekteyim. Yani çizim araçları, özel yanıtlama yazılımları gibi hazırlanan programlar ile bir veya birden fazla basamakta değerlendirme daha kaliteli bir şekilde gerçekleştirilebilir.*

K2-(Psikomotor alan): *Psikomotor beceriler öğrencilerin yetkinliklerini göstermeleri odağındadır. Bu tür becerileri göstermek için dijital sınavlar bazı noktalarda uygulama sınavlarına yaklaşabilecek özelliklere sahip olabilirler. Her alan ve beceri için bunu söylemek mümkün olmasa bile özellikle bilişim teknolojileri temelli yetkinlikleri ölçülmesinde kağıt kalem sınavlardan çok daha fazla etkin kullanılabilir.*

Bilişsel alan kapsamındaki tüm basamaklarda mobil bir dijital sınav sistemi ile ölçme – değerlendirme yapılabileceğine yönelik katılımcı görüşleri mevcuttur. Bununla birlikte açık uçlu, sözlü, kısa cevap, eşleştirme, doğru yanlış ve çoktan seçmeli soruların genel olarak bilişsel alanın tüm basamaklarında kullanılacağı katılımcılar tarafından belirtilmiştir. Bununla birlikte uygulama veya anlatım ile ürün geliştirmeye yönelik soruların bilişsel alanın üst kademelerindeki basamaklar için daha uygun olabileceği görüşü ön plana çıkmaktadır. Bilişsel alan açısından gerçekleştirilecek dijital sınavlarda kullanılacak soru tiplerine yönelik örnek katılımcı görüşleri şöyledir;

K1-: *Bence kâğıt kalem sınavlarda da rahatlıkla kullanılacak olan sorular bilişsel alanın tamamında ölçme değerlendirmede kullanılabilir.*

K7-: *Uygulamaya ya da dijital ürün geliştirmeye yönelik sorular bilişsel alanın analiz, sentez gibi basamaklarında yer alan becerileri ölçmede etkin bir şekilde kullanılabilir. Özellikle bu soruları yanıtlamak için gerekli becerileri gösterebilecekleri sınav yazılımları ile dijital sınavlar desteklenir ise daha iyi sonuçlar alınabilir.*

Psikomotor alan kapsamındaki becerilerin değerlendirilmesinde de dijital sınavların kullanılacağı bazı katılımcılar tarafından düşünülmektedir. Bununla birlikte özellikle öğrencilerin dijital yetkinliklerini değerlendirme noktasındaki psikomotor beceriler açısından dijital sınavların kullanılacağı ifade edilirken bazı psikomotor beceriler açısından dijital sınavların yeterli olmayacağı görüşü ifade edilmektedir. Psikomotor alan açısından gerçekleştirilecek dijital sınavlarda kullanılacak soru tiplerine yönelik örnek katılımcı görüşleri şöyledir;

K7-: *Psikomotor alan açısından dijital sınavlar tam kullanışlı olmayabilir. Bilgisayar alanındaki yetenekler için dijital sınavlar tercih edilebilir fakat gerçek hayatta uygulanması gereken beceriler için dijital sınavlar kullanışlı olmayacaktır.*

K2-: *Uygulama, anlatım veya ürün geliştirmeye yönelik sorular bence psikomotor becerilerin ölçülmesinde kullanılabilir. Bu noktada hem yazılımsal olarak bu becerileri gösterebileceği ortamlar geliştirilerek dijital sınavlar yapılar hem de uygun bir ortamda gösterdikleri becerilerin görüntüleri değerlendirilerek psikomotor beceriler ölçülebilir. Örneğin, yapmış oldukları bir işin videosunun yapay zekâ tarafından değerlendirilerek puanlanması ile psikomotor beceriler dijital olarak değerlendirilebilir.*

3.2. Mobil ve dijital bir sınav sisteminin yazılımsal yapısı nasıl olmalıdır?

Ortam bağımsız sınav sisteminin yapısının belirlenmesine yönelik olarak gerçekleştirilen Sistem Yazılım Tasarımı Çalıştayına 6 alan uzmanı katılmıştır. Çalıştay sürecinde mobil bir sınav sisteminin yazılım

altyapısına yönelik uzmanların ekran tasarımı ve veri tabanı yapıları hakkındaki görüşleri belirlenmiştir. Çalıştaylar öncesinde uzmanlara bir sınav sisteminde hangi ekranların bulunması ve bu ekranlara bilgi sağlayacak veri tabanı yapısının temel özelliklerinin neler olması gerektiğine yönelik sorular yöneltilmiştir. Çalıştay neticesinde mobil dijital bir sınav sisteminin yazılımsal ve donanımsal bileşenlerden meydana gelmesinin gerekliliği ortaya koyulmuştur. Uzmanlar, sistem yapısına yönelik bileşenleri temel yapılar ve barındırması gereken işlevler bağlamında değerlendirmişlerdir. Elde edilen bulguların analizi neticesinde ortaya çıkarılan yapı şöyledir;

3.2.1. Yazılımsal ve Donanımsal Bileşenler

Yazılımsal bileşenler; mobil dijital sınav sisteminin işlevsel bir şekilde organize edilebilmesi için kategorik bir yapıda ele alınmıştır. Bu yapının temelinde sınav organizasyonunu oluşturma ve süreci gerçekleştirme boyutlarına odaklanılmıştır. Sınav öncesindeki hazırlıkların gerçekleştirildiği süreç ekranları **organizasyonel yapı modülleri**, sınavın gerçekleştirilmesi için gereken ekranlar ise **sınav modülleri** olarak isimlendirilmiştir. Bu bileşenlerin bazıları yerel sunucular üzerinden yayınlanan web sayfaları iken bazıları da mobil cihazlar üzerinde çalışan uygulama yazılımları olması gerektiği görüşü ortaya çıkmıştır. Bu noktada süreçte kullanılması gereken donanımsal bileşenlerin özellikleri katılımcılar tarafından belirtilmiştir. Katılımcıların ortak görüşüyle bileşenlerin isimleri ve dijital sınav sistemindeki kullanım amaçları araştırmacılar tarafından çalıştay ortamında kayıt altına alınmış ve onaylarına sunulmuştur. Süreç neticesinde ortaya çıkan yazılımsal ve donanımsal bileşenlerin açıklamaları şöyledir;

I-Organizasyonel Yapı Modülleri

Sınavın hazırlık sürecinde kullanılması gereken muhtemel ekranların tamamı organizasyonel yapı modülleri olarak ifade edilmiştir. Organizasyonel yapı modülleri mobil dijital bir sınavın hazırlanması sürecinde ihtiyaç duyulan ekranların tamamını kapsamaktadır. Organizasyonel yapı bileşenleri odağındaki ekranlar şöyledir;

Sınav bilgileri ekranı: Sınavın tanımlanmasına yönelik bilgilerin organize edildiği ekranlardır. Bu ekrandan sınavın tanımlanmasının yapılmasına yönelik bilgiler girilmekte ve sınav sürecindeki dinamik ekranlarda tanımlama bilgileri kullanılabilir. Süre, oturum zamanları, tarih, sınav adı vb. bilgiler yer almalıdır.

Öğrenci bilgileri ekranı: Öğrencinin kişisel bilgileriyle program ve ders bilgilerini görüntülemekte kullanılan ekranlardır. Öğrencilerin öğrenim sürecindeki durumunu gösteren bilgiler yer almalıdır.

Sınav tercih ekranı: Öğrencilerin ve görevlilerin sınav merkezi ve görev tercihlerini gerçekleştirdiği ekranlardır. Sınav sürecine dahil olan öğrencilerin ve görevlilerin sınav yeri ve görev tercihlerine yönelik bilgiler bu ekranlar vasıtasıyla alınmalıdır.

Bina bilgileri ekranı: Bina ve salonlarının yapısına yönelik bilgilerin yer aldığı ekrandır. Salon sayısı, salonların kapasiteleri, salonların yerleşim düzenleri ve salonun sağladığı imkanlar gibi bilgiler bu ekranda yer almalıdır.

Oturum tanımlama ekranı: Sınavlardaki oturumların yapılarının organize edildiği ekrandır. Oturumlardaki derslerin ve ilgili derslere ait soru seçimleri bu ekran üzerinden gerçekleştirilmelidir.

Öğrenci atama ekranı: Öğrencilerin ve görevlilerin sınav salonlarına atanmalarına yönelik süreçlerin gerçekleştirildiği ekrandır. Tanımlanan sınava göre, sınava girecek öğrenci sayılarını dikkate alarak öğrencilerin il, bina ve salon atamaları bu ekrandan yapılmalıdır. Ayrıca ilgili ekran özel durumu (görme, işitme, bedensel engel, kaza vb. durumlar) olan öğrencilere yönelik durumlarının göz önünde bulundurulduğu bir yapıya sahip olmalıdır.

Görevli atama ekranı: Öğrenci atamaları ile oluşan bina ve salon düzenine göre, bina ve salonlarda sınavı yürütecek olan görevlilerin atamalarının yapılabileceği bir ekrandır. Sınav görevi tercih eden kişiler arasından uygun görevlere atama işlemini gerçekleştirecek yapıda olmalıdır.

Görevli bilgi ekranı: Sınavda görev yapabilecek kişilerin bilgilerinin yer aldığı, yeni görevli kayıtlarının yapılabildiği, görevlilerin kişisel ve kurumsal tanımlama bilgilerinin yer aldığı ekrandır.

Soru bilgileri ekranı: Dersler, kitapçıklar ve derslerin sınav sorularına yönelik bilgilerin yer aldığı ekrandır. Soru yazma, düzenleme, denetleme ve soru havuzu oluşturmaya yönelik süreçlerin gerçekleştirilebildiği bir yapıda olmalıdır. Soruların zorluk dereceleri, madde güçlük indeksleri gibi sınıflandırmaya yardımcı olacak bilgilerin de tanımlanabilmesi gerekmektedir.

Ders bilgileri ekranı: Derslerin özelliklerini gösteren bilgilerin yer aldığı ekrandır. Konular, kazanım düzeyleri ve başarı kriterleri gibi bilgilerin bu ekranda yer almalı ve organize edilebilmelidir.

Sonuç bilgileri ekranı: Sınav sonuçlarını gösteren bilgilerin yer aldığı ekrandır. Öğrencilere bireysel olarak sonuçların sunumu, ders, bölüm ve sınav düzeyindeki başarı istatistiklerini gösterimine yönelik bilgilerin görüntülenmesine imkân vermelidir.

Sınav merkezi ekranı: Sınav merkezlerindeki süreçleri yürütmek için organize edilmiş ekrandır. Sınav temelinde bina seçimi, görevli seçimi vb. gibi sınav merkezinde yürütülen süreçlerin organize edilmesine yönelik süreçler işletilebilmelidir.

Ödeme bilgileri ekranı: Gerçekleştirilen sınava göre, sınav merkezi ve görevlilere yönelik ödeme hesaplamalarının yapıldığı ve ödeme emirlerinin çıkarılabileceği bir yapıda olmalıdır.

Yardım ekranı: Sınava yönelik yardım dokümanlarının bulunduğu ve sınavlara yönelik kuralların tanıtımına imkân sağlamalıdır.

Test oluşturma ekranı: Sınavın gerçekleştirilmesi için öğrencilerin alacakları testleri oluşturan ve mobil sınav sisteminde kullanılabilir formatta çıktılar sunabilecek bir yapıda olmalıdır.

Ödeme ekranı: Sınav görevlilerinin ödeme bilgilerini ve tutarlarını belirlemeye imkân sağlamalıdır.

II-Sınav Modülleri

Sınav esnasında kullanılacak olan yazılımsal öğelerin tamamıdır. Dijital bir sınavın gerçekleştirilmesi için sürecin yürütülmesinde kullanılacak yazılımlar ve görevleri tanımlanmıştır. Sınav modülleri odağındaki yazılımsal bileşenler şöyledir;

Bina yönetici yazılımı: Sınavın gerçekleştirildiği binadaki yönetim süreçlerini organize eden, görevli yoklamalarını alan, tutanakları hazırlamaya imkân sunan bir modül olmalıdır.

Salon görevlileri yazılımı: Salon başkanlarının, öğrencilerin yoklamalarını aldığı, sınav sürecini yönettiği, bireysel iptal gibi sınav yönetimine yönelik işlemleri gerçekleştirebildiği bir modül olmalıdır.

Öğrenci yazılımı: Öğrencilerin, kendilerine ait sınav sorularını gördüğü, soruları yanıtladığı ve sınavları tamamladığı bir modül olmalıdır.

III-Donanımsal Bileşenler

Sınav sisteminin yürütülmesi için gereken donanım bileşenlerini tanımlamaktadır. Mobil bir dijital sınav sistemi için gerekli olan donanımsal bileşenleri ve bu bileşenlerin kullanım amaçları tanımlanmıştır. Donanımsal bileşenler odağındaki sistem öğeleri şöyledir;

Sunucu Bilgisayarlar: Sınav hazırlık ve yürütme süreçlerindeki ekranların çalışabilir olması için gerekli yazılımsal özellikleri destekleyen, kapasite ve iletişim becerileri noktasında yeterli olan bilgisayarlardır.

Depolama Ortamları: Sınavın yürütülmesi için gerekli olan tüm bilgilerin yer aldığı ve yedeklendiği fiziki veya sanal yapıdaki depolama alanlarıdır.

Mobil Cihazlar: Sınav sürecinde soruların yanıtlanması, salon ve bina işlerinin yürütülmesi için kullanılan tablet bilgisayarlardır. Gözetim altındaki sınıflarda dijital sınav gerçekleştirilirken sadece sınav yapmakta kullanılacak özelleştirilmiş tablet bilgisayarların kullanılması gerektiği ifade edilmiştir. Donanımsal bileşenlere yönelik örnek katılımcı görüşü şöyledir;

K4-: Dijital sınav sistemin özünde bir web platformu ile çalışan sistemdir. Bunun için mobil bir web platformu için gerekli olan web sunucusu, depolama ortamı ve mobil cihaz ve yazılımlara yönelik tasarlanmalıdır.

K10- Yazılımda çoklu ortam unsurlarının ve modelleme süreçlerini çalıştırılabilmesi için sunucularda uygun kütüphanelerin eklenmesi göz ardı edilmemelidir.

3.2.2. Veri Tabanı Yapısı

Sistem Yazılım Tasarım Çalıştayı neticesinde, veri tabanı yapısına yönelik olarak katılımcılar çeşitli görüşler ifade etmişlerdir. Katılımcılar veri tabanı yapısının ilişkisel bir formda olması gerektiğini belirtmektedirler. Ayrıca sınav süreçlerinde kullanılacak ekranların bilgi ihtiyacını karşılayacak şekilde bir yapının oluşturulması gerekliliğine de vurgu yapmaktadırlar. Çalıştay sonucunda, mobil sınav sisteminin hazırlık aşamasında web ortamlarının bilgi ihtiyacını karşılamak ve süreçleri organize etmek için kullanılacak veri tabanında bulunması gereken tablolar belirlenmiştir. Veri tabanı yapısı organizasyonel yapı modülleri ve sınav modülleri odağında ayrı ayrı ele alınmıştır. Çalıştay neticesinde organizasyonel yapı modülleri için 16 veri tabanı tablosuna ihtiyaç duyulduğu ortaya çıkarılmıştır. Sınav sisteminin sağlıklı bir şekilde çalışabilmesi için gerekli olan tabloların isimleri şu şekilde listelenmiştir (Tablo 3);

Tablo 3. Organizasyonel yapı modülleri için veritabanı tablolarının isimleri

Organizasyonel yapı modülleri			
Tablo İsimleri			
Sınav Bilgi	Salon Bilgileri	Görevli Atama	Sonuç
Öğrenci Bilgi	Oturum Özellikleri	Soru	Sonuç Analiz
Sınav Tercihleri	Öğrenci Atama	Ders	Sınav Merkezi
Bina Bilgileri	Görevli Bilgileri	Sınav Soruları Atama	Ödeme İşlemleri

Organizasyonel yapı modülleri ile belirlenen veritabanı tablolarının ilişkileri çalıştay kapsamında belirlenmiştir. Organizasyonel yapı modülleri için gerekli ekranlar, veri tabanı tablolarının eşleştirmeleri ve kullanım gerekçeleri Tablo 4’te gösterilmiştir.

Tablo 4. Organizasyonel yapı modülleri ve veri tabanı tablo eşleştirmeleri

Ekran Adı	Tablo Adı	Kullanım gerekçesi
Sınav bilgileri ekranı	Sınav bilgi	Sınavın tanımlama bilgilerinin tutulması
Öğrenci bilgileri ekranı	Öğrenci Bilgi	Öğrenci tanımlama bilgilerinin tutulması
Sınav tercih ekranı	Sınav Tercihleri	Öğrenci sınav tercihlerinin tutulması
Bina bilgileri ekranı	Bina Bilgileri	Bina ve salon bilgilerinin tutulması
Oturum tanımlama ekranı	Oturum Özellikleri	Sınav oturum bilgilerinin tutulması
Öğrenci atama ekranı	Öğrenci Atama	Sınav yeri tercihlerine göre öğrencilerin bina ve sınav salonlarına atama bilgilerinin tutulması
Görevli atama ekranı	Görevli Atama	Sınav yeri tercihlerine göre görevlilerin bina ve sınav salonlarına atama bilgilerinin tutulması
Görevli bilgi ekranı	Görevli Bilgi	Görevli bilgilerinin tutulması
Soru bilgileri ekranı	Soru	Soru bilgilerinin tutulması
Ders bilgileri ekranı	Ders	Ders bilgilerinin tutulması
Sonuç bilgileri ekranı	Sonuç / Sonuç Analiz	Sınav sonucu öğrenci yanıtlarının ve puanlarının tutulması
Sınav merkezi ekranı	Sınav Merkezi	Sınav merkezi bilgilerinin tutulması
Yardım ekranı	Statik Web Sayfası	Genel bilgilendirme ifadelerinin web sayfaları
Test oluşturma ekranı	Sınav Soruları Atama	Soru ve ders eşleştirme bilgilerinin tutulması
Ödeme ekranı	Ödeme İşlemleri	Görevli ödeme bilgilerinin tutulması

Organizasyonel yapı modüllerinin her biri için genel olarak bir tablo tercihi yapıldığı görülmektedir. Bununla birlikte sınav sonuçlarının değerlendirilmesi ve analizi için ayrı tablolar düşünülerek bu tablolar sonuç bilgileri ekranı ile bağlantı olarak çalışması gerektiği görüşü ortaya çıkmıştır.

Sınav esnasında mobil cihazlar tarafından kullanılacak olan veri tabanının içerisinde bulunması gereken tablolar çalıştayda katılımcılar tarafından belirlenmiştir. Sınav modülleri bağlamında oluşturulan tablolar katılımcılar tarafından modül temelli kategorize edilerek oluşturulduğu görülmüştür. Mobil uygulamaların kullanılması için belirlenen tablolar aşağıdaki gibi listelenmiştir (Tablo 5);

Tablo 5. Sınav Modülleri ve İlişkili Veritabanı Tabloları

Sınav modülleri		
Bina Yönetici Yazılımı	Salon Görevlileri Yazılımı	Öğrenci Yazılımı
Bina Bilgileri	Salon Öğrenci	Salon Öğrenci
Salon Bilgileri	Öğrenci Ders	Test
Salon Öğrenci	Öğrenci Yoklaması	Yanıt
Bina Görevli	Bireysel Tutanak	Sınav Hareketleri Gözlem
Öğrenci Ders	Sınav Bilgileri	
Görev Değişimi ve İptali		
Sınav Tutanakları		

3.2.3. Yazılımsal Özellikler

Katılımcılar, mobil sınav sisteminin yazılımsal yapısının iki temel unsur üzerinde kurgulanabileceğini ifade etmektedirler. Bu unsurlardan ilki, sınav hazırlık sürecinde çeşitli bilgilerin oluşturulduğu ve işlendiği web ortamlarıdır. Bu ortamlar için farklı programlama dillerinin bulunduğu, bu diller arasında bir öncelik belirlemeye gerek olmadığı şeklindedir. İkinci olarak sınav süreçlerinin yürütülmesi esnasında kullanılacak olan mobil cihazların üzerinde çalışacak mobil uygulamaların üretilmesi gerektiği vurgulanmıştır. Mobil uygulamalar noktasında katılımcılar, farklı işletim sistemlerinde çalışmak için uyumlu bir formata getirilmiş yazılımların hazırlanmasının önemli olduğu noktasında hemfikirdirler. Bu noktada IOS, Android vb. işletim sistemleri tarafından desteklenecek mobil uygulamalarının tasarımının cihaz bağımlılığını ortadan kaldıracağı yönünde görüş beyan etmektedirler. Ayrıca, iletişim süreçlerinin sağlıklı yürütülmesi ve güvenlik tehditlerini ortadan kaldırma noktasında cihazlar arasındaki iletişim süreçlerinde kriptolama algoritmalarının kullanımının gerekli olduğu ifade edilmektedir. Yazılımsal özelliklere yönelik örnek katılımcı görüşleri şöyledir;

K7-: Dijital sınavların mobil olarak yürütülebilmesi için tablet bilgisayar gibi donanımlara ihtiyaç duyulacaktır. Bu cihazların yetkinlikleri dikkate alındığında sadece sınav yapılabilecek şekilde özellikleri kısıtlanmalı ve sınava özel yazılımlar tasarlanmalıdır.

K9-: Mobil cihazların üzerinde sadece dijital sınav yazılımları çalışmalıdır.

K4-: Sınav hazırlıkları yapıldıktan sonra sınavın yapılması için yazılımsal güvenliğe önem verilmelidir. Özellikler veri aktarım süreçlerinde kriptolu iletişim gibi güvenlik tedbirleri düşünülmelidir.

K2-: Web tasarımının hangi platformlar üzerinden yapıldığından ziyade güvenilir ve korumalı web ortamları oluşturularak sınav hazırlığının gerçekleştirilmesi gerekir.

4. Sonuç ve Tartışma

Araştırma kapsamında katılımcı görüşleri üzerinden gözetim altındaki sınavlarda kullanılabilecek mobil bir sınav sisteminin yapısının nasıl olması gerektiğine ve bu sistemde kullanılabilecek soru türlerine yönelik bir yapı ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır. Bu amaç doğrultusunda yazılım bileşenleri ve sınavlarda kullanılacak soru tipleri üzerine odaklanan çalıştaylar düzenlenmiştir. Çalıştaylara uzaktan eğitim sürecinde ölçme değerlendirme konusunda uzman 10 akademisyen katılmıştır.

Mobil sınav sistemlerinde geleneksel kâğıt-kalem sınavlarına kıyasla alternatif soru türlerinin daha kolay bir şekilde ölçme değerlendirme sürecine taşınabileceği ortaya çıkarılmıştır. Bu kapsamda mobil sınav sistemlerinde açık uçlu, sözlü yoklama, kısa cevaplı, eşleştirme, doğru-yanlış, çoktan seçmeli, uygulama veya anlatım isteyen ve ürün geliştirmeye yönelik soruların kullanılabilmesi belirlenmiştir. Bu sonuçlar alanyazındaki Shan ve ark. [24] ile Rabiee ve ark. [25]'nin çalışmaları ile benzerlik göstermektedir. Bu durum dijital ortamlarda geliştirilen sınav sistemlerinin kâğıt kalem sınavların sunmuş olduğu imkanları karşılamasından kaynaklanıyor olabilir. Ayrıca ölçme değerlendirme süreçlerinde kullanılan soruların birbirlerine göre çeşitli avantaj ve dezavantajları bulunduğu için daha etkin bir ölçme değerlendirmede soru türü çeşitliliğinin önemli olduğunu düşündüklerinden kaynaklanıyor olabilir. Benzer şekilde sınavlarda farklı madde kullanımlarının avantaj oluşturma için kullanıldığı [26] tarafından ifade edilmektedir.

Dijital sınavlarda çoklu ortam öğelerinin soru içeriklerinde kullanılabilmesi görüşü ortaya çıkmıştır. Bu durum dijital ortamlarda rahatlıkla çoklu ortam öğelerinin kullanılabilmesinden ve çoklu ortam öğelerinin soru metinleri veya yanıtlarda görüntülenebileceğinden kaynaklanıyor olabilir. Bu anlayışa benzer olarak [27], çevrimiçi sınavlarda çoklu ortam öğelerinin kullanılabilmesini ifade etmektedirler. Ayrıca dijital sınavların bireysel veya kitlesel yapılabilmeye ihtimallerinden dolayı çoklu ortam öğelerini içeren soruların veya uygulama temelli olarak psikomotor becerilerin sunulabileceği ölçme değerlendirme işlemlerinin rahatlıkla yapılabileceği anlayışının ortaya çıktığı ifade edilebilir. Benzer bir şekilde [28], çoklu ortam öğeleri ile öğrencilerin akademik başarılarının değerlendirilebileceğini ve problem çözme becerilerinin etkili bir şekilde ölçülebileceğini ifade etmektedirler.

Bilişsel ve psikomotor alanlardaki taksonomik düzeyler bağlamında soru tiplerinin nasıl kullanılabilmesine yönelik olarak katılımcılar geleneksel kâğıt-kalem sınavlarda kullanılan soru tiplerinin yanında dijital ortamların imkanları ile gerçekleştirilebilecek 2 farklı soru tipinin daha sınavlara eklenebileceği görüşünü ortaya koymuşlardır. Bu soru tipleri uygulama veya anlatıma yönelik sorular ve ürün geliştirmeye yönelik sorulardır. Öğrencilerin dijital teknolojiler, araçlar veya ortamlar kullanarak yanıtlayabilecekleri bu soru türleri dijital mobil sınav sistemleri için kullanılabilir olabileceği ile bilişsel ve psikomotor alanların tüm taksonomik düzeyleri için bu tür soruların kullanılabilmesi görüşü ortaya çıkmıştır. Bu durum uygulama veya anlatıma yönelik sorular ile ürün geliştirmeye yönelik soruların öğrencilerin performanslarını daha etkin bir şekilde gösterebilmelerine imkân tanınmasına yol açacak özelliklerinin oluşundan ve öğrenmeleri ile ilişkilendirilebileceği anlayışından kaynaklanıyor olabilir. Mayer [29] öğrencilerin karışık neden-sonuç ilişkisine dayalı sistemleri anlamlandırmalarında ve eğitim süreçlerinin daha etkili yürütülmesi için çoklu ortam nesnelere faydalanılması gerektiğini belirtmiştir. Böylece öğrencilerin ders esnasında kullanmış oldukları çoklu ortam içerikleriyle sınav sorusu arasında bağlantı kurması ve özellikle neden-sonuç sistemlerine yönelik soruları anlamlandırması kolaylaşacaktır [30].

Çalışma sonuçlarına göre; mobil bir sınav sisteminin yazılımsal ve donanımsal bileşenler temelinde oluşturulması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Yazılımsal bileşenlerin sınav hazırlık sürecine (organizasyonel yapı) ve sınav uygulama sürecine yönelik (sınav modülleri) olarak iki ana kategoride ele alınması gerektiği üzerine odaklanılmıştır. Organizasyonel yapıyı oluşturan sistemlerin web ortamında çalışabilecek bir yapıda olması gerektiği belirtilmiştir. Bu durum özellikle kitlesel yapıya hitap eden sınavlar için birçok kişinin farklı görevler ile (öğretmen, sınav merkez yöneticisi, salon başkanı, gözetmen vb. gibi) sistemi kullanma ihtiyacından kaynaklandığı ifade edilebilir. Ayrıca sınav hazırlık ve uygulama süreçlerini farklı işleyişlere ve uygulama zaman aralıklarına ihtiyaç duyduklarından kaynaklanıyor olabilir.

Organizasyonel yapı modülleri, sınavın hazırlık aşamasındaki tüm bilgi işlemsel süreçleri gerçekleştirecek yapıları tanımlamaktadır. Bu yapılar üzerindeki alanların çeşitliliği sistemi oluşturacak uzmanların ve kurumun bilgi ihtiyacına göre farklılıklar gösterebileceği düşünülmektedir. Bununla birlikte sağlıklı bir sistem için kullanım amaçlarına göre çeşitli ekranların bulunması gerektiği ve bu ekranların gerçekleştireceği görevler çalışma kapsamında tanımlanmıştır. Opsiyonel yapı modülleri işlevlerine göre el alındıklarında 6 temel işlev (Sınav tanımlama, Atama, Test oluşturma, Sonuç, Bilgilendirme, Ödeme) üzerine odaklandıkları görülmektedir. Ortaya çıkarılan organizasyonel yapı bileşenleri, ilişkili tabloları ve odaklandıkları işlevler şöyledir (Tablo 6);

Tablo 6. Organizasyonel Yapı modüllerinin İşlevsel Sınıflandırılması

İşlev	Ekran Adı	İlişkili Tablo
Sınav Tanımlama	Sınav bilgileri ekranı	Sınav bilgi
Sınav Tanımlama	Öğrenci bilgileri ekranı	Öğrenci Bilgi
Sınav Tanımlama	Bina bilgileri ekranı	Bina Bilgileri
Sınav Tanımlama	Oturum tanımlama ekranı	Oturum Özellikleri
Sınav Tanımlama	Görevli bilgi ekranı	Görevli Bilgi
Sınav Tanımlama	Sınav merkezi ekranı	Sınav Merkezi
Atama	Öğrenci atama ekranı	Öğrenci Atama
Atama	Görevli atama ekranı	Görevli Atama
Atama	Sınav tercih ekranı	Sınav Tercihleri
Test Oluşturma	Soru bilgileri ekranı	Soru
Test Oluşturma	Ders bilgileri ekranı	Ders
Test Oluşturma	Test oluşturma ekranı	Sınav Soruları Atama
Sonuç	Sonuç bilgileri ekranı	Sonuç / Sonuç Analiz
Bilgilendirme	Yardım ekranı	Statik Web Sayfası
Ödeme	Ödeme ekranı	Ödeme İşlemleri

Sınavın gerçekleştirildiği esnadaki yazılımsal öğeler ise sınav modülleri olarak tanımlanmıştır. Bu kapsamda sınavın gerçekleştirileceği bina özelinde yürütülen temel görevlere yönelik mobil cihazlar üzerinde çalışacak yazılımların yapıları üzerinde durulmuştur. Mobil ortamlar üzerinde çalışacak yazılımların tasarlanması gerekliliği ortaya çıkarılmıştır. Bu kapsamda geliştirilecek mobil yazılım veya yazılımların bina yönetimi, salon yönetimi, öğrenci yönetimi ve sınav yönetimi odağında olması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Bu bağlamda ortaya çıkarılan sınav modülleri şöyledir;

- Bina yönetici yazılımı
- Salon görevlileri yazılımı
- Öğrenci yazılımı

Çalışma kapsamında mobil sınav sisteminin çalıştırılması için çeşitli donanımsal öğelerin kullanılması gerektiği ortaya çıkarılmıştır. Bu noktada web ortamlarını çalıştırmak ve hazırlık sürecini gerçekleştirmek için sunucu bilgisayarlara gerek duyulduğu ortaya koyulmuştur. Girilen ve üretilen bilgilerin saklanması ve yedeklenmesine yönelik olarak fiziki ve bulut temelli depolama ortamlarının kullanımının gerekliliği belirtilmiştir. Ayrıca sınavın yürütülmesi için sadece sınav için kullanılacak şekilde özelleştirilmiş tablet bilgisayarların kullanımının gerekliliği vurgulanmıştır. Bu durum dijital sınav esnasında gözetim aktivitesi gerçekleştirse bile tablet bilgisayarların tüm yetkinlikleri açık olduğunda sınav güvenliğini tehlikeye atma, dijital kopya girişimlerine ortam oluşturma ihtimali olmasından kaynaklanıyor olabilir. Benzer şekilde Topuz [31], online sınavlarda sınav öncesi ve sınav esnasında birçok farklı yolla kopya çekme ihtimalinin olduğunu ve bunları engellemek için çeşitli stratejilerin kullanılması gerektiğini ifade etmektedir.

Mobil dijital bir sınav sisteminin bilgi üretimi ve yönetimi noktasında ilişkisel bir veri tabanı yapısının kullanımının önemli olduğu belirtilmiştir. Bununla birlikte sistemde kullanılacak yazılımların geliştirileceği dillerden ziyade işleyiş süreçlerini organize etmedeki yetkinliklerinin ve güvenlik düzeylerinin önemine vurgu yapılmıştır. Veri tabanı yapısının ilişkisel bir yapıda hazırlanması gerektiği ve iletişim sürecini güvenli hale getirecek yapılara sahip olması gerekliliği vurgulanmıştır. Ayrıca sınav modülleri için oluşturulan tabloların bazılarının ortak olduğu ve her üç yazılım içinde veri sağlayacak şekilde kullanılması gerektiği

anlaşılacaktır. Bu durum sınav uygulama sürecinin bina, salon ve öğrenci boyutunda farklılaşsa bile öğrenci ve salon odağında ortak verilere ihtiyaç duyduğundan kaynaklanıyor olabilir.

Mobil dijital bir sınav sisteminin yazılımlarının işletim sistemi kısıtına takılmayacak şekilde üretilmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Bu durum sisteme dahil edilecek cihaz türünü ve bu cihazlarda yer alan işletim sistemlerinin dijital sınavlarda problem oluşturmasını engellemek amacıyla kaynaklanıyor olabilir. Ayrıca cihazlar ve ortamlar arasındaki veri iletişimde güvenlik tedbirlerinin alınması gerektiği anlayışı da ortaya çıkmaktadır. Bu durum erişime kapalı bir sınav sistemi oluşturulsa dahi sınav hazırlık veya uygulama sürecinde yetkisiz erişim girişimlerinin olabileceği ihtimalinden kaynaklanıyor olabilir.

Bu çalışma gözetim altında mobil sınav yapabilecek bir sistemin temel bileşenlerine odaklanmaktadır. Gelecek çalışmalarda bu çalışmanın önerdiği bileşenler üzerine kurgulanmış sistemlerin denemeleri gerçekleştirilebilir. Ayrıca öğrenci ve sınav gerçekleştiricilerinin bakış açılarına odaklanan uygulamalı çalışmalar gerçekleştirilebilir.

Yazar Katkı Oranı

Tüm yazarlar makalenin tüm bölümlerine katkı sağlamıştır. Tüm yazarlar makalenin yayınlanan versiyonunu okumuş ve kabul etmiştir.

Destek ve Teşekkür

Bu araştırma Atatürk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimince (SAB-2021-9322) numaralı proje tarafından desteklenmiştir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Kaynakça

- [1] L. Kirtman, "Online versus in-class courses: An examination of differences in learning outcomes," *Issues in Teacher Education*, vol. 18, no. 2, pp. 103-116, 2009.
- [2] G. Afaçan Adanır, R. İsmailova, A. Omuraliev, and G. Muhametjanova, "Learners' Perceptions of Online Exams: A Comparative Study in Turkey and Kyrgyzstan," *International Review of Research in Open and Distributed Learning*, vol. 21, no. 3, 2020.
- [3] T. M. Clark, C. S. Callam, N. M. Paul, M. W. Stoltzfus, and D. Turner, "Testing in the Time of COVID-19: A Sudden Transition to Unproctored Online Exams," *Journal of Chemical Education*, pp. 3413–3417, 2020, doi: <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c00546>.
- [4] K. Khalaf, M. El-Kishawi, M. Moufti, and S. Al Kawas, "Introducing a comprehensive high-stake online exam to final-year dental students during the COVID-19 pandemic and evaluation of its effectiveness," *Medical Education Online*, 2020.
- [5] M. Keijzer-de Ruijter and S. Draaijer, "Digital exams in engineering education," in *Technology Enhanced Assessment: 21st International Conference, TEA 2018, Amsterdam, The Netherlands, Revised Selected Papers*, vol. 21, pp. 140-164, 2019.
- [6] P. Krakowian, "Investigating user group behavior patterns in digital examinations," *Studia Anglica Resoviensia*, vol. 19, pp. 41–51, 2022.
- [7] O. Gervasi, D. Perri, and M. Simonetti, "Strategies and system implementations for secure electronic written exams," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 20559-20570, 2022.
- [8] M. Özönur, H. Kamışlı, T. Y. Yelken, and H. S. Tokmak, "Uzaktan eğitim öğrencilerinin Enocta öğrenme yönetim sistemi hakkında görüşlerinin incelenmesi," *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, no. 50, pp. 283-302, 2019.
- [9] M. S. H. Munna, M. R. Hossain, and K. R. Saylo, "Digital Education Revolution: Evaluating LMS-based Learning and Traditional Approaches," *Journal of Innovative Technology Convergence*, vol. 6, no. 2, 2024.

- [10] YÖK, "Üniversitelerimizde Küresel Salgın Sürecinde Uzaktan Öğretim Uygulamaları Anket Sonuçları," 2020. [Online]. Available: <https://covid19.yok.gov.tr/Documents/AnaSayfa/uzaktan-ogretim-anketi.pdf>. [Accessed: Oct. 24, 2023].
- [11] G. Başol, T. K. Ünver, and H. Çiğdem, "Student Views towards E-Test Applications in Measurement and Evaluation Course," *International Journal of Turkish Education Sciences*, no. 8, pp. 111-128, 2017.
- [12] P. Chatzipetrou, K. Majkic, J. Samuelsson, and O. Åberg, "Students' Acceptance Of Digital Exams: A Case Study In A Swedish University," in *European Conference on e-Learning*, vol. 22, no. 1, pp. 69-77, Oct. 2023.
- [13] B. Berggren, A. Fili, and O. Nordberg, "Digital examination in higher education-Experiences from three different perspectives," *The International Journal of Education and Development using Information and Communication Technology*, vol. 11, p. 100, 2015.
- [14] M. Yağcı, "Çevrimiçi Sınav Ortamlarının Öğrencilerin Akademik Başarılarına Etkisi," *e-Journal of New World Sciences Academy*, pp. 331-339, 2012.
- [15] M. Ardid, J. A. Gómez-Tejedor, J. Meseguer-Dueñas, J. Riera, and A. Vidaurre, "Online exams for blended assessment. Study of different application methodologies," *Computers & Education*, pp. 296-303, 2015.
- [16] K. Hylton, Y. Levy, and L. P. Dringus, "Utilizing webcam-based proctoring to deter misconduct in online exams," *Computers & Education*, pp. 53-63, 2016.
- [17] K. K. Hollister and M. L. Berenson, "Proctored Versus Unproctored Online Exams: Studying the Impact of Exam Environment on Student Performance," *Decision Sciences Journal of Innovative Education*, pp. 271-294, 2009.
- [18] J. Cramp, J. F. Medlin, P. Lake, and C. Sharp, "Lessons learned from implementing remotely invigilated online exams," *Journal of University Teaching & Learning Practice*, vol. 16, no. 1, pp. 1-18, 2019. [Online]. Available: <https://ro.uow.edu.au/jutlp/vol16/iss1/10/>. [Accessed: Oct. 12, 2024].
- [19] A. Yıldırım and H. Şimşek, *Sosyal bilimlerde nitel araştırma yöntemleri*, 6th ed., Ankara, Turkey: Seçkin Yayıncılık, 2008.
- [20] A. Yıldırım, "Nitel araştırma yöntemlerinin temel özellikleri ve eğitim araştırmalarındaki yeri ve önemi," *Eğitim ve Bilim*, vol. 23, no. 112, 1999.
- [21] S. B. Merriam, *Nitel Araştırma Desen ve Uygulama İçin Bir Rehber*, S. Turan, Ed., Ankara, Turkey: Nobel Yayınları, 2013.
- [22] B. Johnson and L. Christensen, *Educational research: quantitative, qualitative and mixed approaches*, USA: SAGE Publications, 2014.
- [23] G. Marczyk, D. DeMatteo, and D. Festinger, *Essentials Of Research Design And Methodology*, New York, NY, USA: John Wiley & Sons Inc, 2005.
- [24] W. F. Shan, M. Huang, and J. Li, "An online examination system supporting user-defined question type," in *2010 2nd International Conference on Education Technology and Computer*, vol. 1, pp. V1-109, June 2010.
- [25] A. Rabiee, A. Goel, J. D'Souza, and S. Khanwalkar, "Question-type identification for academic questions in online learning platform," *arXiv preprint arXiv:2211.13727*, 2022. [Accessed: Oct. 9, 2024].
- [26] S. Gültekin and N. Ç. Demirtaşlı, "Comparing the test information obtained through multiple-choice, open-ended and mixed item tests based on item response theory," *Elementary Education Online*, vol. 11, no. 1, pp. 251-263, 2012.
- [27] M. Yağcı, H. Ekiz, and S. Gelbal, "Yeni Bir Çevrimiçi Sınav Modeli Geliştirilmesi ve Uygulanması," *Ahi Evran Üniversitesi Kırşehir Eğitim Fakültesi Dergisi (KEFAD)*, vol. 16, no. 1, pp. 269-288, April 2015.

- [28] R. E. Bennet, M. Goodman, J. Hessinger, H. Kahn, J. Ligget, G. Marshall, and J. Zack, "Using multimedia in large-scale computer-based testing programs," *Computers in Human Behavior*, vol. 15, pp. 283-294, 1999.
- [29] R. E. Mayer, *Multimedia Learning*, Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2009, doi: <https://doi.org/10.1017/CBO9780511811678>.
- [30] R. E. Mayer, "Multimedia learning: Are we asking the right questions?" *Educational Psychologist*, pp. 1-19, 1997.
- [31] A. C. Topuz, "Bilgi güvenliğinin sağlanmasına yönelik geliştirilebilecek yazılımsal stratejiler: Online sınav uygulamaları örneği," 2016. [Online]. Available: https://aef.gov.az/upload/Files/grantlar_uzre_neshrler/eif_kitabrlar/eif_konfrans_2016_informasiya_cemiyeti.pdf. [Accessed: Sept. 10, 2024].
- [32] C. G. King, R. W. Guyette, and C. Piotrowski, "Online Exams and Cheating: An Empirical Analysis of Business Students' Views," *The Journal of Educators Online*, pp. 1-11, 2009.



Research Article

Biomass Production by *Yarrowia lipolytica* from Olive Mill Wastewater: Evaluation of Protein Content

Bilge Sayın¹ *

¹ Department of Gastronomy and Culinary Arts, School of Tourism and Hotel Management, Ardahan University, 75002, Ardahan, Türkiye

* Correspondence: bilgesayin@ardahan.edu.tr

Received: 5 December 2024; Accepted: 29 December 2024; Published: 31 December 2024

Abstract: Olive mill wastewater (OMW), a by-product of olive oil production, is a promising substrate for microbial applications. This agro-industrial waste offers considerable potential for biomass production as it contains carbon and nitrogen sources that support microbial growth. Additionally, utilization of this waste contributes to environmentally sustainable waste management. Utilizing OMW as a growth medium, *Yarrowia lipolytica* offers an alternative to synthetic media, enhancing the economic value of this waste while reducing production costs. In this study, biomass production by *Y. lipolytica* from OMW was optimized using the Taguchi method. The experimental design evaluated the effects of the OMW dilution rate (20, 40, and 60%), nitrogen concentration (0, 1, and 2 g/L), and incubation time (3, 5, and 7 days). Nine experiments were conducted using the L9 orthogonal array, and significant factors were identified using analysis of variance (ANOVA). Among these variables, nitrogen concentration significantly influenced biomass production ($p < 0.05$). The highest biomass concentration of 11.58 ± 0.93 g/L was achieved, and the optimum conditions were found as OMW dilution rate of 60%, 2 g/L nitrogen addition, and 5 days of incubation. Under these conditions, the protein content of the biomass was determined as $25.88 \pm 0.63\%$ w/w biomass dry weight.

Keywords: Olive mill wastewater, biomass, *Yarrowia*, waste management, Taguchi

Araştırma Makalesi

Zeytinyağı Değirmeni Atıksuyundan *Yarrowia lipolytica* ile Biyokütle Üretimi: Protein İçeriğinin Değerlendirilmesi

Öz: Zeytinyağı üretiminin bir yan ürünü olan zeytin değirmeni atık suyu (ZDA), mikrobiyal uygulamalar için umut vadeden bir substrattır. Bu tarımsal-endüstriyel atık, mikrobiyal büyümeyi destekleyen karbon ve azot kaynakları içerdiğinden biyokütle üretimi için önemli bir potansiyel sunmaktadır. Ayrıca, bu atığın kullanımı çevresel olarak sürdürülebilir bir atık yönetimine katkıda bulunmaktadır. ZDA'yı bir büyüme ortamı olarak kullanan *Yarrowia lipolytica*, sentetik ortama bir alternatif sunarak bu atığın ekonomik değerini artırırken üretim maliyetlerini düşürmektedir. Bu çalışmada, *Y. lipolytica* tarafından ZDA'dan biyokütle üretimi Taguchi yöntemi kullanılarak optimize edilmiştir. Deneysel tasarım, OMW seyreltme oranının (%20, 40 ve 60), azot konsantrasyonunun (0, 1 ve 2 g/L) ve inkübasyon süresinin (3, 5 ve 7 gün) etkilerini değerlendirmiştir. L9 ortogonal dizilimi kullanılarak dokuz deney yürütülmüş ve önemli faktörler varyans analizi (ANOVA) kullanılarak belirlenmiştir. Bu değişkenler arasında azot konsantrasyonu biyokütle üretimini önemli ölçüde etkilemiştir ($p < 0,05$). En yüksek biyokütle konsantrasyonu $11,58 \pm 0,93$ g/L olarak elde edilmiş ve optimum koşullar %60 OMW seyreltme oranı, 2 g/L azot ilavesi ve 5 gün inkübasyon olarak bulunmuştur. Bu koşullar altında, biyokütlenin protein içeriği $25,88 \pm 0,63$ w/w biyokütle kuru ağırlığı olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Zeytin değirmeni atık suyu, biyokütle, *Yarrowia*, atık yönetimi, Taguchi

Citation: B. Sayın "Biomass Production by *Yarrowia lipolytica* from Olive Mill Wastewater: Evaluation of Protein Content", *Journal of Studies in Advanced Technologies*, vol. 2, no. 2, pp. 136-143, Dec 2024, doi: 10.63063/jsat.1596989

1. Introduction

Olive mill wastewater (OMW) is the primary effluent generated during olive oil processing [1]. Global OMW production is estimated to reach approximately 1×10^7 m³ annually, with the majority originating in the Mediterranean region [2]. OMW poses an environmental challenge owing to its high organic content, which has a substantial impact on the quality of the natural ecosystems where it is discharged. The elevated organic load of OMW necessitates considerable oxygen consumption, as indicated by its chemical oxygen demand (COD) and biological oxygen demand (BOD), resulting in eutrophication of surface waters [3]. In addition, OMW can affect soil quality and negatively influence the growth of trees, plants, and terrestrial grasses [4].

The concept of microbial proteins, commonly referred to as single-cell protein (SCP), has been recognized for a long time. The production of SCP offers distinct advantages over plant- and animal-based sources such as short generation times, the ability to manipulate metabolism and composition, and independence of climatic conditions. Also, it has the potential to significantly reduce the environmental footprint, including land use, water consumption, and greenhouse gas emissions, compared to animal protein production [5]. The global demand for proteins continues to rise, and advancements in the food processing sector are expected to enhance this significance. Notably, the SCP market is projected to surpass \$18.5 billion by 2030, underscoring its significance as a sustainable protein source [6]. Reducing the production cost of SCPs largely depends on the selection of inexpensive and suitable substrates. Utilizing biodegradable agro-industrial byproducts as nutrient sources is a cost-effective approach for supporting microbial growth and facilitating large-scale protein production [7].

Microorganisms (algae, yeast, fungi, and bacteria) can produce large amounts of SCP [8], and this production ensures that dried cells serve as a valuable source of protein for both human nutrition and animal feed applications. Moreover, the dry matter of yeast contains protein ranging 5-70%, and is characterized by a favorable amino acid profile [9]. *Yarrowia lipolytica* is a non-conventional dimorphic yeast. Its unique metabolic pathways enable growth on various carbon sources, making it suitable for industrial applications [10]. *Y. lipolytica* is classified as Generally Recognized as Safe (GRAS) by the U.S. Food and Drug Administration (FDA, USA). This classification is important for the use of microorganisms in food and feed applications [11]. *Y. lipolytica* strains are well-suited for OMW resource recovery. These strains can grow on OMW, effectively degrade lipids and polyphenols, consume organic matter, and simultaneously produce biomass and other valuable by-products [12].

Previous studies have explored single-cell biomass [13], [14], [15], [16], [17] and SCP production [18], [19] using OMW. Nonetheless, studies on SCP from OMW, particularly those involving *Y. lipolytica*, are still considered to be relatively limited. Therefore, in this study, considering the diversity of chemical substances used in synthetic media for obtaining biomass by *Y. lipolytica* NRRL YB-423, as well as the economic aspects, the potential for substituting these substances with OMW, a sustainable waste resource, was investigated. For this purpose, the biomass concentration was optimized using the Taguchi statistical method according to the OMW dilution ratio (20, 40, and 60%), nitrogen concentration (0, 2, and 4 g/L), and incubation time (3, 5, and 7 days). Finally, the protein content of the biomass obtained as a result of production under optimum conditions was evaluated.

2. Material and methods

2.1. Microorganism

Yarrowia lipolytica NRRL YB-423 (ATCC 18942) was obtained from the American Type Culture Collection (ATCC, Manassas, VA, USA). The yeast cells were activated in malt extract broth at 28°C for 24-48 h. The strain was stored in 50% (v/v) glycerol at -80°C.

2.2. Sample preparation

The OMW used in this study was sourced from an olive oil production facility in İzmir, Türkiye, which had a three-phase extraction system. The samples were stored at -18°C to preserve their composition. The OMW samples were thawed and solid particulates were separated by centrifugation at $3000 \times g$ for 10 min and used for analysis (Hettich, Universal 320 R; Germany).

2.3. Key parameters of OMW

The centrifuged OMW samples were filtered through a 0.45 μm syringe filter (ISOLAB, Germany), and chemical oxygen demand (COD) was measured using Merck Spectroquant kits (Merck, Germany) with a Move 100 colorimeter (Merck, Germany). The absorbance of the samples was measured at a wavelength of 475 nm using a UV–Vis spectrophotometer (UV-1600 PC, VWR) for color determination [20]. The samples were diluted 100-fold for both the analyses. Finally, pH was measured using a pH meter (Mettler Toledo Ion S220; Griefensee, Switzerland).

2.4. Culture conditions

Biomass production experiments were conducted using OMW as the primary substrate, with only nitrogen (according to the experimental design) and glucose supplementation (30 g/L). Ammonium chloride (NH_4Cl) was used as nitrogen source. The culture medium was sterilized in an autoclave at 121°C for 15 min to ensure aseptic conditions. Shake-flask fermentation experiments were performed in 250 mL Erlenmeyer flasks, each containing 50 mL of sterilized culture medium. The pH of the culture medium was not adjusted. The medium was inoculated with 1 mL of an exponentially growing pre-culture containing approximately 10^6 cells/mL. Following inoculation, the cultures were incubated in a rotary shaker (Mikrotest, MSC 55, Türkiye) at 28°C with a shaking speed of 180 rpm.

2.5. Determination of biomass concentration

After incubation, the samples were centrifuged at $3000 \times g$ for 10 min. Cell pellets were collected, washed twice with distilled water to remove residual medium components, and subsequently dried at 80°C until a constant weight was achieved. The dried pellets were weighed to obtain the final dry cell weight [21].

2.6. Protein content of biomass

Protein content was determined according to the Kjeldahl method by digestion, distillation, and acid-base titration using a Behrotest digester and distiller (Behr Labor-Technik, Germany). The protein amount (%) was determined by multiplying the measured nitrogen content by a nitrogen-to-protein conversion factor of 6.25.

2.7. Optimization of biomass concentration

The experimental results are expressed as signal-to-noise (S/N) ratios, where the “signal” represents the mean for the output and “noise” indicates the variability or deviations from the target values. Taguchi’s S/N analysis classifies response characteristics into three main categories: “smaller-the-better”, “larger-the-better”, and, “nominal-the-best” ensuring flexibility across various optimization scenarios. The factor levels with the highest S/N ratio are considered optimal [22]. In this study, experimental combinations were selected using an L9 orthogonal test table to identify optimal pretreatment conditions. The factors and their levels are listed in Table 1.

Table 1. Factors and levels for biomass concentration

Factors	Level 1	Level 2	Level 3
Dilution rate (%)	20	40	60
Nitrogen concentration (g/L)	0	1	2
Incubation time (days)	3	5	7

All experiments were conducted in duplicates. Analysis of variance (ANOVA), was performed to evaluate the significance of the tested parameters. The combined use of S/N ratios and ANOVA facilitated the identification of the optimal process conditions and provided insights into the impact of each variable on the outcome.

The Taguchi method is widely used in biotechnological applications owing to its effectiveness in optimizing complex processes with a minimal number of experiments. Through the application of orthogonal array designs, this method facilitates the analysis of multiple factors and their interactions, without the need for comprehensive full-factorial experimentation. Its strength lies in minimizing process variability and

determining optimal conditions using S/N ratio analysis, making it highly suitable for reducing inconsistencies, enhancing output, and achieving specific target parameters.

3. Results and discussion

3.1. Characterization of OMW

The pH of the undiluted OMW was 4.50 ± 0.01 . The COD concentration was measured as 635 ± 7.07 mg/L, and the color absorbance was recorded as 0.105 ± 1.41 at 475 nm. Lucas and Peres [23] studied an OMW sample with similar COD value. Lopes et al. [12] used OMW with a much lower COD value (19,584 mg/L). Jamrah et al. [24] stated that COD concentrations depend on the extraction method and the country of origin. Generally, the COD value ranges between 80,000 and 200,000 mg/L in the OMW samples [11]. The COD levels of the OMW sources used in this study were below this range.

3.2. Process optimization

The experimental design, biomass production, and S/N ratio are presented in Table 2. As can be seen from the table, for the samples without nitrogen, the biomass concentration remained low and comparable level, regardless of the OMW dilution rate and incubation time (0.39-0.51 g/L). However, the highest biomass concentration was obtained after 5 days of incubation when the culture medium contained 60% diluted OMW, supplemented with 2 g/L NH_4Cl , reached in a value of 11.58 ± 0.93 g/L. Under these conditions, the protein content of the biomass was determined as $25.88 \pm 0.63\%$ w/w biomass dry weight.

For effective protein production, the protein content within single-cell organisms typically ranges from to 39-73% [25]. Although *Y. lipolytica* is compatible with these conditions, further optimization is required to improve its productivity and/or protein content for enhanced efficiency. On the other hand, the findings demonstrated the feasibility of employing OMW as a cost-effective and sustainable substrate for SCP production via microbial biomass production.

Table 2. Experimental desing and results of biomass concentration and S/N ratio

Run	Dilution rate (%)	Nitrogen concentration (g/L)	Time (days)	Biomass concentration (g/L)	S/N ratio
1	20	0	3	0.39 ± 0.10	-8.1121
2	20	1	5	5.40 ± 0.91	14.6479
3	20	2	7	9.93 ± 0.95	19.9381
4	40	0	5	0.51 ± 0.11	-5.9342
5	40	1	7	8.30 ± 1.57	18.3816
6	40	2	3	5.52 ± 0.13	14.8309
7	60	0	7	0.47 ± 0.09	-6.5212
8	60	1	3	6.75 ± 0.05	16.5899
9	60	2	5	11.58 ± 0.93	21.2742

Previous studies using OMW supplemented with additional medium components resulted in lower or similar biomass concentrations compared with our study [1], [10], [13], [14], [19]. The microorganisms used for SCP should have rapid growth, minimal nutritional needs, easy processing, nonpathogenic and non-toxic properties, low nucleic acid content, and high biological value [26]. Therefore, the ability of *Y. lipolytica*, recognized as GRAS, to rapidly adapt and grow on OMW supplemented with only 30 g/L glucose and nitrogen concentrations specified in the experimental design, without the addition of any other medium components, was considered significant for this study.

The high cost of synthetic media has limited advancements in microbiology, fermentation, and molecular biology [27]. On the other hand, the treatment of domestic and industrial wastes generated by developed countries requires substantial energy consumption [28]. To effectively address these issues, a circular

economy is designed to maintain a balance between economic growth, resource sustainability, and environmental protection [29]. Therefore, the use of OMW for biomass production is considered a viable option for on-site waste reduction and/or recycling, particularly in Mediterranean countries, because it can serve as a substitute for synthetic media, mitigate environmental issues, and reduce processing costs.

The analysis of variance (ANOVA) results, as presented in Table 3, indicated that among the evaluated factors, nitrogen concentration had the most significant effect on biomass production, with a contribution of 97.36%. In contrast, the dilution rate and incubation time showed minimal contributions, influencing biomass concentration by only 0.37% and 1.08%, respectively. The effect of nitrogen concentration on production was significant ($p < 0.05$), whereas the effects of the other factors were not significant ($p > 0.05$).

Table 3. ANOVA for biomass concentration

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F	P
Dilution rate (%)	2	4.54	0.37%	4.54	2.271	0.31	0.765
Nitrogen concentration (g/L)	2	1204.07	97.36%	1204.07	602.036	81.52	0.012
Time (days)	2	13.33	1.08%	13.33	6.665	0.90	0.526
Error	2	14.77	1.19%	14.77	7.385		
Total	8	1236.71	100%				

DF: Degrees of freedom, Seq SS: Sequential sum of squares, Adj SS: Adjusted sum of squares, Adj MS: Adjusted mean square (R^2 : 98.81%, R^2_{adj} : 95.22%, R^2_{pred} : 75.82%)

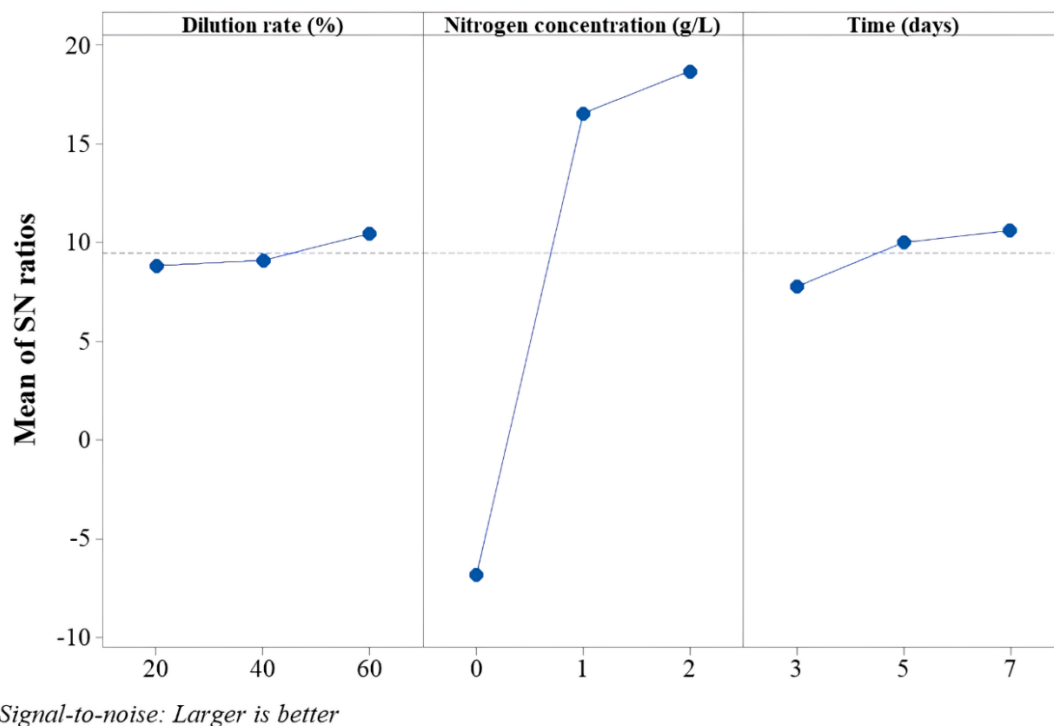


Figure 1. The plot of the S/N ratio for biomass concentration

The main effect plots for the mean and signal-to-noise (S/N) ratios are shown in Figure 1. The highest S/N ratio for each control factor was observed at a 60% dilution rate, nitrogen concentration of 2 g/L, and incubation time of 7 days.

Sarris et al. [13] used OMW as a substrate for value-added product production. They determined the highest biomass concentration of 12.7 g/L with *Y. lipolytica* ACA-YC 5028 after 48 h in carbon-limited glucose-based media with various amounts of OMW (initial phenolics 1.23 g/L). Although a similar result was obtained in our study, shorter incubation time was an important factor. Therefore, the composition of the

medium can be further improved. Sarris et al. [30] demonstrated that the addition of OMW in carbon-limited fermentations enhanced biomass production of *Y. lipolytica* ACA-YC 5033. At an initial glucose concentration of approximately 80 g/L, carbon flux was channeled more effectively for biomass synthesis. In this context, different and higher glucose concentrations can be tested in subsequent stages of our study. Carranza-Méndez et al. [31] achieved 15.71 g/L biomass and 6.22% total protein at optimum conditions ((NH₄)₂SO₄: 2 g/L, orange peel (% w/v): 10, and 25°C) with *Candida utilis*. In another study, *Y. lipolytica* A-101 was cultured at pH 5.0 and 30°C using biofuel waste as the medium. The protein concentration increased to 8.28 g/L, representing a 44% improvement compared to the initial value of 3.65 g/L [32]. Finally, in a study conducted with *Y. lipolytica* wt A-101 incubated at 28°C, pH 3.5, and 150 rpm for 5 days using shake-flask fermentations, between 30.5-44.5% protein was obtained using rye straw, rye bran, and oat bran as substrates [11].

4. Conclusion

The findings of this study emphasize the potential of olive mill wastewater (OMW) as a viable and cost-efficient substrate for microbial biomass production. The optimization process conducted using the Taguchi method revealed that the nitrogen concentration was the most influential factor in biomass yield, with a significant impact on production outcomes. Moreover, the protein content of the biomass can be regarded as significant, both as a contribution to human nutrition and as an animal feed additive. It is believed that more detailed characterization of the OMW will play an important role in determining the production mechanism. Future studies involving scale-up processes, genetic modifications, and further optimization can enhance production. Additionally, investigating the synergistic utilization of OMW in combination with other agricultural by-products could further enhance biomass production and improve process yield. For example, incorporating glucose derived from waste sources into the culture medium would make this process more effective. These results underscore the value of incorporating OMW into biotechnological applications, presenting the dual advantage of resource recovery and waste valorization. This approach not only improves the economic feasibility of microbial biomass production but also contributes to environmental sustainability.

Conflicts of Interest

The author declares no conflict of interest.

References

- [1] D. Sarris, A. Rapti, N. Papafotis, A. A. Koutinas, and S. Papanikolaou, "Production of added-value chemical compounds through bioconversions of olive-mill wastewaters blended with crude glycerol by a *Yarrowia lipolytica* strain," *Molecules*, vol. 24, no. 2, p. 222, 2019.
- [2] F. Chidichimo, M. R. Basile, C. Conidi, G. De Filipo, R. Morelli, and A. Cassano, "A new approach for bioremediation of olive mill wastewaters: combination of straw filtration and nanofiltration," *Membranes*, vol. 14, no. 2, p. 38, 2024.
- [3] K. Ayadi, M. Meziane, D. Rouam, M. N. Bouziane, and K. El-Miloudi, "Olive mill wastewater for bioethanol production using immobilised cells," *Kemija u industriji*, vol. 71, no. 1-2, pp. 21–28, 2022.
- [4] M. R. Zahi, W. Zam, and M. El Hattab, "State of knowledge on chemical, biological and nutritional properties of olive mill wastewater," *Food Chemistry*, vol. 381, p. 132238, 2022.
- [5] G. J. Martin and S. Chan, "Future production of yeast biomass for sustainable proteins: a critical review," *Sustainable Food Technology*, 2024.
- [6] D. I. Koukoumaki et al., "Recent advances in the production of single cell protein from renewable resources and applications," *Carbon Resources Conversion*, vol. 7, no. 2, p. 100195, 2024.
- [7] M. Sharif et al., "Single cell protein: Sources, mechanism of production, nutritional value and its uses in aquaculture nutrition," *Aquaculture*, vol. 531, p. 735885, 2021.
- [8] B. C. Bratosin, S. Darjan, and D. C. Vodnar, "Single cell protein: A potential substitute in human and animal nutrition," *Sustainability*, vol. 13, no. 16, p. 9284, 2021.

- [9] P. Juszczak, W. Rymowicz, A. Kita, and A. Rywińska, "Biomass production by *Yarrowia lipolytica* yeast using waste derived from the production of ethyl esters of polyunsaturated fatty acids of flaxseed oil," *Industrial Crops and Products*, vol. 138, p. 111590, 2019.
- [10] R. Yang, Z. Chen, P. Hu, S. Zhang, and G. Luo, "Two-stage fermentation enhanced single-cell protein production by *Yarrowia lipolytica* from food waste," *Bioresource Technology*, vol. 361, p. 127677, 2022.
- [11] K. Drzymała, A. M. Mirończuk, W. Pietrzak, and A. Dobrowolski, "Rye and oat agricultural wastes as substrate candidates for biomass production of the non-conventional yeast *Yarrowia lipolytica*," *Sustainability*, vol. 12, no. 18, p. 7704, 2020.
- [12] M. Lopes et al., "The use of olive mill wastewater by wild type *Yarrowia lipolytica* strains: medium supplementation and surfactant presence effect," *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, vol. 84, no. 4, pp. 533–537, 2009.
- [13] D. Sarris, M. Galiotou-Panayotou, A. A. Koutinas, M. Komaitis, and S. Papanikolaou, "Citric acid, biomass and cellular lipid production by *Yarrowia lipolytica* strains cultivated on olive mill wastewater-based media," *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, vol. 86, no. 11, pp. 1439–1448, 2011.
- [14] D. Sarris et al., "Conversions of olive mill wastewater-based media by *Saccharomyces cerevisiae* through sterile and non-sterile bioprocesses," *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, vol. 88, no. 5, pp. 958–969, 2013.
- [15] A. Cicci, M. Stoller, and M. Bravi, "Microalgal biomass production by using ultra- and nanofiltration membrane fractions of olive mill wastewater," *Water Research*, vol. 47, no. 13, pp. 4710–4718, 2013.
- [16] G. Hodaiifa, S. Sánchez, M. E. Martínez, and R. Órpez, "Biomass production of *Scenedesmus obliquus* from mixtures of urban and olive-oil mill wastewaters used as culture medium," *Applied Energy*, vol. 104, pp. 345–352, 2013.
- [17] F. Di Caprio, P. Altimari, and F. Pagnanelli, "Integrated biomass production and biodegradation of olive mill wastewater by cultivation of *Scenedesmus* sp.," *Algal Research*, vol. 9, pp. 306–311, 2015.
- [18] F. Arous et al., "Biosynthesis of single-cell biomass from olive mill wastewater by newly isolated yeasts," *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 23, pp. 6783–6792, 2016.
- [19] I. Giavasis and K. Petrotos, "Biovalorization of olive mill waste water for the production of single cell protein from *Saccharomyces cerevisiae*, *Candida utilis*, and *Pleurotus ostreatus*," *British Biotechnology Journal*, vol. 11, pp. 1–16, 2016.
- [20] F. Tufaner, "Evaluation of COD and color removals of effluents from UASB reactor treating olive oil mill wastewater by Fenton process," *Separation Science and Technology*, vol. 55, no. 18, pp. 3455–3466, 2020.
- [21] S. Papanikolaou et al., "*Yarrowia lipolytica* as a potential producer of citric acid from raw glycerol," *Journal of Applied Microbiology*, vol. 92, no. 4, pp. 737–744, 2002.
- [22] D. Priyadarshi and K. K. Paul, "Optimisation of biodiesel production using Taguchi model," *Waste and Biomass Valorization*, vol. 10, pp. 1547–1559, 2019.
- [23] M. S. Lucas and J. A. Peres, "Removal of COD from olive mill wastewater by Fenton's reagent: Kinetic study," *Journal of Hazardous Materials*, vol. 168, no. 2-3, pp. 1253–1259, 2009.
- [24] A. Jamrah, T. M. Al-Zghoul, and M. M. Darwish, "A comprehensive review of combined processes for olive mill wastewater treatments," *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, vol. 100493, 2023.
- [25] W. Cui et al., "Direct conversion of inulin into single cell protein by the engineered *Yarrowia lipolytica* carrying inulinase gene," *Process Biochemistry*, vol. 46, no. 7, pp. 1442–1448, 2011.
- [26] M. C. Chalón et al., "Microbiological culture broth designed from food waste," *Journal of Environmental Management*, vol. 115, pp. 1–4, 2013.

- [27] C. Zvidzai et al., "Potential commercialization of a microbial medium formulated from industrial food waste," *African Journal of Microbiology Research*, vol. 1, no. 6, pp. 079–087, 2007.
- [28] E. Blanchet et al., "Comparison of synthetic medium and wastewater used as dilution medium to design scalable microbial anodes: application to food waste treatment," *Bioresource Technology*, vol. 185, pp. 106–115, 2015.
- [29] T. L. Chen et al., "Implementation of green chemistry principles in circular economy system towards sustainable development goals: Challenges and perspectives," *Science of the Total Environment*, vol. 716, p. 136998, 2020.
- [30] D. Sarris et al., "Production of added-value metabolites by *Yarrowia lipolytica* growing in olive mill wastewater-based media under aseptic and non-aseptic conditions," *Engineering in Life Sciences*, vol. 17, no. 6, pp. 695–709, 2017.
- [31] R. C. Carranza-Méndez et al., "Production of single cell protein from orange peel residues by *Candida utilis*," *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, vol. 40, p. 102298, 2022.
- [32] M. E. Jach et al., "Statistical evaluation of growth parameters in biofuel waste as a culture medium for improved production of single cell protein and amino acids by *Yarrowia lipolytica*," *AMB Express*, vol. 10, pp. 1–12, 2020.