

YIL / YEAR | 2025

CİLT - SAYI / VOLUME - ISSUE | 11 / 1

e-ISSN | 2667-8659

KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ
MEMBA SU BİLİMLERİ DERGİSİ

KASTAMONU UNIVERSITY
MEMBA WATER SCIENCES JOURNAL





Regional Industrial Specialization in Fishing and Aquaculture (2007-2022)

Ayşe Nur Çiftçi^{1*}

Abstract: The fishing and aquaculture industry is one of the most ancient economic activities. Its origins even predate the Neolithic revolution. It can operate in a wide range of areas from the seashore to inland waters such as rivers, lakes, ponds, and dams. The aim of this study is to analyze the development of regional industrial specialization in the fishing and aquaculture industry over the last two decades. In the application part of the study, the location quotient was used as the statistical technique. The data were compiled from the SGK statistical yearbooks at NUTS 3 (provinces) level for the years 2007, 2012, 2017 and 2022. Regional industrial specialization clusters were identified according to the location quotient limit values. The number of provinces in regional industrial specialization clusters, the number of workers employed, and their weights are reported. To visually identify the change in regional industrial agglomeration for four five-year periods, a mapping study based on provinces was carried out on the map of Turkey at NUTS 3 level. The findings show a more than three-fold increase in employment in the fishing and aquaculture industry over two decades. It was observed that employment in this industry was predominantly concentrated in the full regional industrial specialization cluster ($LQ \geq 3$). The mapping study also concluded that there has been an increase in the agglomeration of the fishing and aquaculture industry from inland waters to coastal areas over two decades. In summary, a transformation is observed with a significant increase in industrial activities in the sea instead of industrial activities in inland rivers, lakes, ponds, and dams.

Keywords: Fishing and aquaculture, regional industrial specification, Regional cluster, Location quotient, Labor economics, Social politics.

Balıkçılık ve Su Ürünleri Yetiştiriciliğinde Bölgesel Endüstriyel Uzmanlaşma (2007-2022)

Özet: Balıkçılık ve Su Ürünleri Yetiştiriciliğinde endüstrisi en kadim ekonomik faaliyet alanlarından olup kökenleri neolitik devrimin öncesine dayanmaktadır. Deniz kıyısından nehir, göl, gölet, barajların yer aldığı iç sulara kadar geniş bir alanda faaliyet gösterilebilir. Bu çalışmanın amacı, balıkçılık ve su ürünleri yetiştiriciliği endüstrisinde son yirmi yılda yaşanan bölgesel endüstriyel uzmanlaşma gelişimini analiz etmektir. Çalışmanın uygulama kısmında istatistik teknik olarak lokasyon katsayısı kullanılmıştır. Veriler SGK istatistik yıllıklarından 2007, 2012, 2017 ve 2022 yılları için NUTS 3 (iller) düzeyinde derlenmiştir. Lokasyon katsayı sınır değerlerine göre bölgesel endüstriyel uzmanlaşma kümeleri tespit edilmiştir. Bölgesel endüstriyel uzmanlaşma kümelerinde yer alan il sayıları, istihdam edilen işçi sayıları ve ağırlıkları raporlanmıştır. Beşer yıllık dört dönem için bölgesel endüstriyel yığılmanın değişimini görsel olarak da tespit için İBBS 3 düzeyinde Türkiye haritasında illere dayalı haritalama çalışması gerçekleştirildi. Elde edilen bulgular, fishing and aquaculture endüstrisinde yirmi yılda üç katı aşan istihdam artışını göstermiştir. Bu endüstride ağırlıklı olarak tam bölgesel endüstriyel uzmanlaşma kümesinde ($LQ \geq 3$) istihdamın yığıldığı gözlemlendi. Ayrıca haritalama çalışmasında da yirmi yılda fishing and aquaculture endüstrisinde iç sulardan kıyılara doğru yığılmada artış yaşandığı sonucuna ulaşılmıştır. Özetle iç sulardaki nehir, göl, gölet, barajlardaki endüstriyel faaliyetler yerine denizde endüstriyel faaliyetlerde belirgin artışın yaşandığı bir dönüşüm gözlenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Balıkçılık ve su ürünleri yetiştiriciliği, Bölgesel uzmanlaşma, Bölgesel kümelenme, Lokasyon katsayısı, Çalışma ekonomisi, Sosyal politika

Article Info (Research)

¹ İstanbul Esenyurt University, 34517, Zafer Mah. Esenyurt, İstanbul, Türkiye
***Corresponding Author:**
aysenurciftci@esenyurt.edu.tr
draysenurciftci@gmail.com

Citation: Çiftçi, A.N. (2025), Regional Industrial Specialization in Fishing and Aquaculture (2007-2022), Memba Water Sciences Journal. 11, (1) 1–9,
<https://doi.org/10.58626/memba.1667161>

Submission Date: 8 October 2024
Acceptance Date: 19 March 2025
Publishing Date: 28 March 2025

1. Introduction

Fishing is an ancient activity dating back to before the Neolithic revolution. It is the main activity of the hunting and gathering period. It maintained its importance after the Neolithic revolution. However, it has started to lose its former vitality with the increasing urbanization since the Industrial Revolution. With the transition to the information society, the use of technology in the fishing and aquaculture industry has increased day by day, just as the agricultural sector has internalized technological advances, but this increase has not allowed for a general increase in employment. Today, fishing is carried out with vessels using advanced technology compared to the past. Aquaculture, although not as old as fishing, is an industry with a history of nearly five thousand years, with origins dating back to 2000 BC. Production started in China and continued in the Roman period with fish farming in ponds built on the coast. As the 21st century approached, aquaculture has reached half of the amount supplied by fishing. Especially since the 1980s, the demand for aquaculture products has gradually increased and new strategies and practices in aquaculture have contributed to the rapid development of this very old culture (Başçınar, 2004).

The fishing and aquaculture industry in Turkey has experienced a rapid acceleration, especially in the last two decades. The number of workers employed in the industry has more than tripled in just two decades. In the same period, the overall increase in the number of employed workers was more than doubling. Thus, employment growth in the fishing and aquaculture industry has been much higher than overall employment growth in the country. However, the share of workers employed in this industry in the total number of employed workers does not reach 1/1000. In a country surrounded by seas on three sides, it is expected to have a much higher weight even if it is not the main economic activity. This situation supports the fact that the employment potential in the fishing and aquaculture industry is extremely high.

The existence of high potential despite rapid industrial progress was the first motivation for the study. The second motivation was to raise awareness of the divergence of industrial progress between coastal and inland areas. The third motivation was to identify whether the regional industrial specialization in the fishing and aquaculture industry has progressed in developed metropolitan areas or in medium and small cities. Thus, the aim of the study is to contribute to the literature by analyzing the development of regional industrial specialization in the fishing and aquaculture industry between 2007 and 2022, which is still a weak industrial area despite its rapid acceleration in the last two decades.

2. Materials and Methods

The study used the number of workers employed in the fishing and aquaculture industry by province. Data were collected from SGK statistical yearbooks for four different years (SGK, 2007, 2012, 2017, 2022). The statistical method used in the applications is the coefficient of location technique. The location quotient is a well-established analysis technique. This technique was first devised as a "location quotient" by P. Sargent Florence, and then, it was used for estimating that industrial location in USA by National Resources Planning Board in 1943 (Matila, & Thompson, 1955). The location quotient technique is commonly used to analyze the level of industrial regional agglomeration based on employment data. However, over time, in addition to analyses based on employment data, analyses based on many different data such as production, income, wealth, migration, race, and crime types have started to be carried out with the location quotient technique. In this study, the classical location quotient technique (LQ) was used to analyze regional industrial specialization based on employment data.

The value of the location quotient is calculated according to the following formulation:

$$LQ_{i,j} = \frac{E_{i,j}/E_{i,n}}{E_j/E_n} \quad (1)$$

$LQ_{i,j}$ is the coefficient that gives the specialization value in industry j in province i . $E_{i,j}$ stands for the number of jobs in industry j in province i , $E_{i,n}$ stands for total employment in province i , E_j stands for employment in industry j in the whole country, E_n stands for total employment in the country (Çiftçi & Çiftçi, 2020).

In studies where the location quotient is used, it is an important issue of debate what the boundaries for the level of regional industrial specialization should be. The first study prepared to determine the limits that will determine the level of regional industrial specialization belongs to Miller et al. (1991). In this study, it was stated that the location quotient value should be at least 0.70 for regional industrial specialization to start, even at a low level. There are many studies that argue that the location quotient value should be at least 1.25 for regional industrial specialization to take place, this value should reach 2 for high regional industrial specialization, and the LQ should take at least 3 for full regional industrial specialization. Based on the literature on the

determination of cut-off values in regional industrial specialization, Çiftçi & Çiftçi (2020) identified five clusters. The five different regional industrial specialization clusters are as follows:

$LQ < 0.70 \Rightarrow$ Regional industrial specialization has not started.

$0.70 \leq LQ < 1.25 \Rightarrow$ There is low regional industrial specialization.

$1.25 \leq LQ < 2 \Rightarrow$ Regional industrial specialization has started

$2 \leq LQ < 3 \Rightarrow$ There is high regional industrial specialization.

$3 \leq LQ \Rightarrow$ There is full regional industrial specialization.

3. Results

LQ values were between 0 and 30.58 in 2007. While the average was 1.57, the median value among 81 provinces was 0.32. LQ2007 showed a significant decrease compared to the values in the following years compared to the maximum. LQ2012 decreased to 22.42, LQ2017 decreased to 20.81 and LQ2022 decreased to 20.55. The value of 0, indicating no industrial activity, remained the minimum value in all four years. LQ mean values were close to each other, ranging from 1.47 to 1.64. The median value also varied slightly between 0.32 and 0.53. As for the standard deviation and variance values, which are important indicators of the severity of regional concentration the highest level was observed in 2007. In the following years, there was a decline. Therefore, the severity of deviation from the mean among provinces decreased after 2007 and the severity of regional concentration decreased (Table 1).

Table 1. Descriptive Statistics

LQn	N	Minimum	Maximum	Mean	Median	Std. Deviation	Variance
LQ ₂₀₀₇	81	0	30.58	1.57	0.32	3.88	15.08
LQ ₂₀₁₂	81	0	22.42	1.64	0.53	3.24	10.50
LQ ₂₀₁₇	81	0	20.81	1.47	0.32	3.01	9.05
LQ ₂₀₂₂	81	0	20.55	1.60	0.40	3.24	10.51
Valid N (listwise) 81							

Provinces formed specialization clusters in five groups according to their LQ values. The number of provinces defined in the full industrial specialization ($LQ \geq 3$) cluster was 12 in 2007, 13 in 2012, 11 in 2017 and 14 in 2022. The number of provinces defined in the high industrial specialization ($3 > LQ \geq 2$) cluster was 3 in 2007, 3 in 2012, 5 in 2017 and 2 in 2022. The number of provinces defined in the industrial specialization ($2 > LQ \geq 1.25$) cluster was 6 in 2007, 11 in 2012, 9 in 2017 and 4 in 2022. There were 11 provinces in 2007, 8 provinces in 2012, 7 provinces in 2017, and 8 provinces in 2022 defined in the cluster of industrial specialization onset ($1.25 > LQ \geq 0.7$). The number of provinces defined in the cluster of no industrial specialization ($0 > LQ \geq 0.70$) was 49 in 2007, 46 in 2012, 49 in 2017 and 53 in 2022 (Table 2).

Table 2. Number of provinces by LQ grouping

2007	2012	2017	2022	2007
LQ $\geq$ 3	12	13	11	14
3>LQ $\geq$ 2	3	3	5	2
2>LQ $\geq$ 1.25	6	11	9	4
1.25>LQ $\geq$ 0.70	11	8	7	8
LQ<0.70	49	46	49	53
Total	81	81	81	81

The number of people employed in industrial specialization clusters increased in line with the overall increase in employment. The number of employees in provinces defined in the full industrial specialization (LQ $\geq$ 3) cluster was 3.216 in 2007, 5.134 in 2012, 4.917 in 2017 and 9.089 in 2022. The most significant increase in the number of people employed in provinces in this cluster was observed between 2017 and 2022. The number of people employed in provinces defined in the high industrial specialization (3>LQ $\geq$ 2) cluster was 114 in 2007, 472 in 2012, 1.782 in 2017 and 432 in 2022. While the increase in the number of employed in the provinces in this cluster was around four times between 2007-2012 and 2012-2017, there was a sharp decline between 2017-2022. Thus, the number of employed in 2022 is below the level in 2012. The number of people employed in provinces defined in the industrial specialization (2>LQ $\geq$ 1.25) cluster was 251 in 2007, 1626 in 2012, 750 in 2017 and 2.154 in 2022. The volume of employment in this cluster has been volatile over the years. While it exceeded 6 times between 2007-2012, there was a significant decline between 2012-2017. Between 2017-2022, there was a near 3-fold increase. The number of employment in provinces defined in the cluster of the beginning of industrial specialization (1.25>LQ $\geq$ 0.7) was 1.062 in 2007, 782 in 2012, 543 in 2017 and 1.009 in 2022. Thus, while the number of employed people in the provinces in this cluster decreased by approximately ½ between 2007-2017, it increased by approximately 2-fold to 1,009 between 2017-2022. Thus, the employment loss between 2007-2017 was recovered between 2017-2022. The number of people employed in provinces defined in the cluster without industrial specialization (LQ<0.7) was 4.995 in 2007, 8.846 in 2012, 9.062 in 2017 and 15.583 in 2022. Thus, the number of people employed in provinces defined as clusters without industrial specialization increased steadily over the four periods, with employment growth exceeding three times between 2007 and 2022. This employment growth stability could not be achieved in the other four specialization clusters (Table 3).

Table 3. Employment according to LQ classification

2007	2012	2017	2022	2007
LQ $\geq$ 3	3.216	5.136	4.917	9.089
3>LQ $\geq$ 2	114	472	1.782	432
2>LQ $\geq$ 1.25	251	1.626	750	2.154
1.25>LQ $\geq$ 0.70	1.062	782	543	1009
LQ<0.70	352	830	1.070	2.899
Total	4.995	8.846	9.062	15.583

Table 4 shows the percentage distribution of workers employed in the fishing and aquaculture industry by level of industrial specialization. The weight of those in provinces defined in the full specialization (LQ $\geq$ 3) cluster peaked at 64.38% in 2007, declined to 58.06% in 2012, continued to decline at 54.26% in 2017, and

increased to 58.33% in 2022. The weight of workers employed in provinces defined in the cluster of high industrial specialization ($3 > LQ \geq 2$) has fluctuated considerably over the two decades, reaching 2.28% in 2007; 5.34% in 2012; 19.66% in 2017; and 2.77% in 2022. This points to an extremely unstable distribution of employment. The weight of employed workers in provinces defined within the cluster of industrial specialization ($2 > LQ \geq 1.25$) also fluctuated. The employment weight was 5.03% in 2007; 18.38% in 2012; 8.28% in 2017; and 13.82% in 2022. The weight of employed workers in provinces defined in the cluster of industrial specialization onset ($1.25 > LQ \geq 0.7$) peaked in 2007 with 21.66%. After the peak, it declined to 8.84% in 2012 and 5.99% in 2017. It then rose from the 2017 trough to 6.48% in 2022. There has been a steady increase in the weight of employed workers in provinces defined in the cluster with no industrial specialization ($LQ < 0.7$). The employment weight was 7.05% in 2007; 9.38% in 2012; 11.81% in 2017; and 18.60% in 2022.

Table 4. Employment distribution by LQ classification, %

2007	2012	2017	2022	2007
$LQ \geq 3$	64.38	58.06	54.26	58.33
$3 > LQ \geq 2$	2.28	5.34	19.66	2.77
$2 > LQ \geq 1.25$	5.03	18.38	8.28	13.82
$1.25 > LQ \geq 0.70$	21.26	8.84	5.99	6.48
$LQ < 0.70$	7.05	9.38	11.81	18.60
Total	100.00	100.00	100.00	100.00

The LQ values of 81 provinces were colored according to their LQ ranges in four different maps prepared for the years 2007, 2012, 2017 and 2022. The first map shows the situation in 2007. The provinces with full industrial specialization in coastal regions were Sinop in the Western Black Sea Region; Ordu, Trabzon, Rize and Artvin in the Eastern Black Sea Region; Aydın and Muğla in the Aegean Region; and Yalova in Marmara Region. Bilecik, Yozgat, Gümüşhane and Elazığ stood out in the inland regions. The second map shows the situation in 2012. The provinces with full industrial specialization in coastal regions were Sinop in the Western Black Sea Region; Ordu, Trabzon and Rize in the Eastern Black Sea Region; and Aydın and Muğla in the Aegean Region. Among the coastal provinces, industrial specialization declined in Yalova and Artvin. In the inland regions, Gümüşhane and Elazığ maintained their positions, while Bilecik and Yozgat experienced a decline in industrial specialization. Burdur, Kayseri and Tunceli joined the inland provinces. The third map shows provinces by industrial specialization in 2017. Among the provinces with full industrial specialization in coastal regions, Samsun was added to Sinop in the Western Black Sea Region. In the Eastern Black Sea Region, Trabzon and Rize remained in place, while Ordu left and Artvin was added. In the Aegean Region, Aydın and Muğla retained their positions. There are no provinces bordering the Sea of Marmara with a fully specialized industrial sector. In inland regions, Gümüşhane, Elazığ and Burdur remain, while Kayseri and Tunceli exit the full industrial specialization cluster and K. Maraş is added. The fourth and final map included the mapping of 81 provinces by industrial specialization in 2022. Among the provinces with full industrial specialization in coastal regions, Sinop and Samsun in the Western Black Sea Region retained their positions. In the Eastern Black Sea Region, Ordu and Giresun were added to Trabzon, Rize, and Artvin. Thus, full specialization in the fishing and aquaculture industry was achieved along the entire Black Sea coast from Sinop to Artvin. In the Aegean Region, Balıkesir was added to Aydın and Muğla. The provinces bordering the Marmara Sea with full industrial specialization were Yalova and Balıkesir, which also border the Aegean Sea. In the inland regions, Gümüşhane and Elazığ remained in place, while Burdur and K. Maraş left and Tunceli was added (Figure 1).

Location Quotient (LQ) - 2007



Location Quotient (LQ) - 2012



Location Quotient (LQ) - 2017



Location Quotient (LQ) - 2022



Figure 1. Appearance of Provinces on the Map of Turkey by Industrial Specialization Levels (2007, 2012, 2017, 2022)

4. Discussion

Generally, regional industrial specialization in the fishing industry is most prominent in island states. However, in developed countries, even if they are island states, this is weakened by the fact that other industries are highly developed and regional concentration to achieve industrial specialization is limited. For example, two studies focusing on the analysis of sectoral regional specialization in Ireland in 2007 found that the fishing sector reached a location quotient value of 1.44, indicating a level of industrial specialization and clustering in the BWM region (Morrissey, 2014, 2016). In the Southeast region, the LQ declined to 0.10 (Morrissey, & O'Donoghue, 2013). Average Location Quotient in the Great Lakes Basin Region in Canada for 2016 was as low as 0.38 in fishing and fish production (Graziano, et al 2019). These levels are well below the level of regional industrial specialization for many provinces in Turkey.

Fishing was found to be the most concentrated industry with an LQ of 3.25 in the clustering of regional industrial specialization among the 54 regions in the EU 12 (Mack & Jacobson, 1996), even though it consists of developed countries with the exceptions of Portugal and Greece. The findings support that the fishing industry is very important for the EU. Indeed, for the EU country Latvia, regional industrial specialization was satisfactory for the sector. Industry with the highest cluster potential in Riga, Pieriga and Kurzeme regions of Latvia's six regions are processing and preserving of fish, crustaceans, and molluscs (Garanti, & Zvirbul-Berzina, 2014). For another EU country, Poland, Czapliński (2014) found that regional concentration in the fish processing industry increased between 1999 and 2011. This was attributed to the increase in investment in the fish processing industry because of Poland's accession to the EU in 2004. Turkey, which is not a member of the EU but is in close cooperation with it, also experienced an increase in regional concentration between 2007 and 2022, especially in coastal areas such as the Northern Black Sea coast, while employment tripled, which is in line with the results of Turkey and Poland. Although this result is obtained in the fish processing industry in Poland, the existence of an industrial overlap between the two countries is supported as it is ultimately a fishing-based industry.

It was argued that the fishing industry in Greece, a political, social and economic competitor with Turkey in many political, social and economic areas, is weakly realized in the North and South Aegean and is not strong in the economies of the region. To justify this, it was calculated that the LQ value of the industry was

around 1 and ranked 37th out of 60 sectors (Loizou et al, 2010). However, more recent studies have found results that support the development of the sector. For example, Komminos et al (2020) found that regional industrial specialization in the fishing sector (both Marine fishing and Freshwater fishing) was high in all seven regions for 2016, with LQ ranging from 2.35 to 7.28. These LQ values are quite satisfactory even for the LQ values in Turkey. It also supports that regional industrial specialization in Greece tends to be concentrated in the fishing sector on a regional basis, as in Turkey.

In emerging markets, including Turkey, there has been an upward trend in regional industrial specialization in recent years, as in Turkey. In a study for China, the largest emerging market, Li (2015) showed that the fishing industry in coastal areas is very strong, with an LQ as high as 6.64. He also pointed out that while the number of fishermen is declining in many developed countries such as Japan, Norway and the United Kingdom, while in China the industry is an employment generator like in Turkey. While the number of fishermen in China increased to 14 million, the number of fishermen in Turkey tripled to more than 15.000 between 2007 and 2022, up from 5.000 in 2007-2022. Liu et al (2022) calculated LQ for fisheries ranged between 0.02 and 3.20 in a total of 232 8-year observations in 29 provinces in China between 2013 and 2020. Although this range is high, it is much higher for Turkey than for China in all four years 2007, 2012, 2017, 2022 (Table 1).

When the Republic of South Africa is examined as another developing country, there was an increase in regional specialization in the fisheries sector in Cape Town between 2002 and 2017, exceeding the full specialization limit of 3 since 2007, while in Nelson Mandela city, this limit reached full specialization in 2017 with a leap compared to five years ago (Niyimbanira et al, 2020). Coleman et al (2019) found that in the regional specialization classification by sectors in New Zealand in 2013, fisheries were included in the full regional industrial specialization cluster as the LQ value was 3.06. However, this level is also much higher for Turkey than for the Republic of South Africa in all four years 2007, 2012, 2017, 2022 (Table 1).

In small settlements, the spatial concentration of fishing can be quite high. In 1978, regional specialization in fishing in Bay County, Florida was quite high with an LQ value of 3.69 (Fernald et al, 1979). In other recent study, LQ values for fishing, hunting and trapping reached up to 491 in Kodiak Island Borough, Alaska (Pominova et al, 2022). The LQ values calculated for Turkey also support this situation. Because the regional specialization in the fishing sector reaches its peak in the provinces of the Central and Northern Black Sea Region, where the population and employment volume are weak.

5. Conclusion

The fishing and aquaculture industry is a high-growth industry with employment growth that has more than tripled in the last two decades. However, it is an industry with a weight that does not even reach 1/1000 of the total employment volume. Therefore, it is clear that this ancient industry has a very high development potential ahead of it. Rapid technological developments in today's information society seem to have strengthened this industry rather than weakening it. The increase in sectoral employment is a clear proof of this situation.

The statistical exercise carried out within the scope of the study supports the existence of a structural change in the fisheries and seafood production industry. Accordingly, in the twenty-year period between 2007 and 2022, the provinces where regional industrial full specialization has occurred have shifted significantly. It is concluded that the land-based industrial activities that were carried out in the interior of the country in rivers, lakes, ponds and dams twenty years ago are now weakening and being replaced by coastal areas. In addition to the fact that marine fisheries cover most of the Black Sea from Sinop to Artvin, regional industrial specialization has also been achieved, especially in the Aegean Region, where aquaculture is widespread. There is also regional industrial full specialization in Marmara, which is an inland sea with the addition of Balıkesir and Yalova. However, full specialization based on inland waters is present in only three provinces. Therefore, it is clearly seen that there is a rapid development process shaped around coastal fisheries.

Another important result is that regional industrial specialization is observed in provinces with low and medium populations. In large cities, where high-tech service and industrial sectors have developed, the fishing and aquaculture industry is not the business sector where regional industrial specialization can be achieved. This is why it has the potential to be a growth pole, especially for low and medium-population coastal provinces. The existence of intense interest and support for this sector in the EU, with which Turkey has close relations, can be considered as an encouraging situation for Turkey. After all, EU countries are also Turkey's largest international trade partner. In addition, Turkey has access to various loans and grants from the EU. EU membership has been the driving force behind Poland's sectoral development. Although Turkey is not a member of the EU, it is a candidate country. This status can be utilized to make an additional contribution to the development of this industry, which has already achieved high growth momentum and has many more potential growth areas ahead of it.

In summary, although an ancient economic activity, the fishing and aquaculture industry has become a

highly developed business sector for developing countries in recent years. The EU, with which we have close relations, also supports the development of this sector. In addition, coastal fishing is becoming increasingly important on a global scale. Especially in the economies of low and medium-populated provinces, this sector is becoming more and more important and supportive of local development. Supporting an industry with such significant growth and potential for future development that has not yet reached saturation point can lead to highly successful outcomes.

7. Compliance with Ethical Standard

a) Author Contributions

Single author.

b) Conflict of Interests

The authors declared that they have no conflict of interest.

c) Statement on the Welfare of Animals

Not relevant

d) Statement of Human Rights

There are no human subjects in this study.

e) Funding

This study was not supported by any founder.

8. References

- Başçınar, N. (2004). Dünyada su ürünleri yetiştiriciliği ve ülkemizin geleceğine bakış. *Aquaculture Studies*, 4(1), 6-8. DOI: 10.17693/yunus.18519
- Coleman, A., Maré, D., & Zheng, G. (2019). New jobs, old jobs: the evolution of work in New Zealand's cities and towns. New Zealand Productivity Commission. Working Paper 2019/1. ISBN: 978-1-98-851937-1
- Czapliński, P. (2014). Processes of transformation of spatial structure of fish processing industry in Poland. *Prace Komisji Geografii Przemysłu Polskiego Towarzystwa Geograficznego*, (25), 151-162. DOI: 10.24917/20801653.25.8
- Çiftçi, A. N. & Çiftçi, M. (2020). Sosyal hizmet faaliyet alanında bölgesel uzmanlaşmadan iraksama tespit yöntemi ve tekirdağ örneği (2008-2017). *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 7(1), 118-142. DOI: 10.30798/makuiibf.593512
- Fernald, E. A., Walby, K., Miller, S. J., & Jones III, J. P. (1979). Marine-Related Recreation Businesses And Public Facilities In Bay County, Florida. Technical Paper No. 15, The Florida State University Tallahassee, Florida.
- Garanti, Z., & Zvirbule-Berzina, A. (2014). Regional cluster identification in food manufacturing industry in Latvia. *Journal of Business Management*, 8, 135-145.
- Graziano, M., Alexander, K. A., Liesch, M., Lema, E., & Torres, J. A. (2019). Understanding an emerging economic discourse through regional analysis: Blue economy clusters in the US Great Lakes basin. *Applied Geography*, 105, 111-123. DOI: 10.1016/j.apgeog.2019.02.013
- Komninos, N., Kakderi, C., Panori, A., Psaltoglou, A., & Chatziparadeisis, A. (2020). Ecosystems and functioning EDP for S3 2021–2027 in Greece. Report to the European Commission, DG Regional and Urban Policy.
- Li, R. (2015). National and regional socio-economic dependence on the fishery sector in mainland China. *Fisheries management and Ecology*, 22(1), 33-44. DOI: 10.1111/fme.12055
- Liu, C., Jiang, Q., & Leibrecht, M. (2022). Does an increased synergy in an industry's subsystems impact on industrial development? The case of the Fisheries industry in China. *Marine Policy*, 135, 104837. DOI: 10.1016/j.marpol.2021.104837
- Loizou, E., Chatzitheodoridis, F., Mattas, K., Polymeros, K., 2010, Fisheries Policies Impacts Consideration Towards the Development of Rural Coastal Areas, pp. 281-295, Proceedings of the 118th Seminar of E.A.A.E. 'Rural Development: Governance, Policy Design and Delivery', Ljubljana, Slovenia. DOI: 10.22004/ag.econ.94910
- Mack, R. S., & Jacobson, D. S. (1995). Core periphery analysis of the European Union: a location quotient approach. *Journal of Regional Analysis and Policy*, 26(1), 3-21.
- Mattila, J. M., & Thompson, W. R. (1955). The measurement of the economic base of the metropolitan

- area. *Land Economics*, 31(3), 215-228. DOI: 10.22004/ag.econ.130418
- Miller, M. M., Gibson, L. J., & Wright, N. G. (1991). Location quotient: A basic tool for economic development analysis. *Economic Development Review*, 9(2), 65-68.
- Morrissey, K. (2014). Producing regional production multipliers for Irish marine sector policy: A location quotient approach. *Ocean & coastal management*, 91, 58-64. DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2014.02.006
- Morrissey, K. (2016). A location quotient approach to producing regional production multipliers for the Irish economy. *Papers in Regional Science*, 95(3), 491-507. DOI: 10.1111/pirs.12143
- Morrissey, K., & O'Donoghue, C. (2013). The potential for an Irish maritime transportation cluster: An input-output analysis. *Ocean & coastal management*, 71, 305-313. DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2012.11.001
- Niyimbanira, F., Eggink, M. E., & Nishimwe-Niyimbanira, R. (2020). The identification of the key sub-industries among coastal metropolitan cities of South Africa: An application of the location quotient technique. *International Journal of Economics and Finance Studies*, 12(1), 50-70. DOI: 10.34109/ijefs.202012104
- Pominovaa , M. Gabeb, T., & Crawley, A. (2022). The stability of location quotients. *The Review of Regional Studies*, 52: 296-320. DOI: 10.52324/001c.66197
- SGK (2008). Sosyal Güvenlik Kurumu İstatistik Yıllığı 2007, Ankara.
- SGK (2013). Sosyal Güvenlik Kurumu İstatistik Yıllığı 2012, Ankara.
- SGK (2018). Sosyal Güvenlik Kurumu İstatistik Yıllığı 2017, Ankara.
- SGK (2023). Sosyal Güvenlik Kurumu İstatistik Yıllığı 2022, Ankara.

Nutrients in Sediment and Overlying Water in the Homa Lagoon of İzmir Bay (Aegean Sea, Turkey)

Emine Erdem Cingöz^{1*} , Hasan Baha Büyükişık² 

Abstract: Benthic fluxes of biogenic compounds play a critical role in the biogeochemistry of shallow aquatic ecosystems. Measuring these fluxes at the lagoon scale is challenging due to heterogeneous sediment structures and the combination of diffusion and advective transport processes at the sediment-water interface. In this study, monthly nutrient flux experiments were conducted in the sediment of İzmir Bay Homa Lagoon (Aegean Sea, Turkey). The flux of reactive silicate (RSi) ranged from 14.6 to 255.24 $\mu\text{gSi}/\text{m}^2/\text{hour}$, while the ammonium (NH_4^+) flux varied between 3.59 and 95.8 $\mu\text{gN}/\text{m}^2/\text{hour}$. The nitrite (NO_2^-) flux ranged from 0.93 to 13.99 $\mu\text{gN}/\text{m}^2/\text{hour}$, and the nitrate (NO_3^-) flux varied from 27.76 to 300 $\mu\text{gN}/\text{m}^2/\text{hour}$. The flux of reactive phosphorus (RP) ranged from 0.74 to 5.80 $\mu\text{gP}/\text{m}^2/\text{hour}$. The research indicated that the RSi flux peaked during the summer months, while the NO_3^- flux occurred in both winter and summer, transferring nutrients from sediment to water and vice versa. It was determined that the NO_2^- flux significantly transferred to the sediment, except during the summer months. The RP flux flowed from sediment to water during the summer, while it was bound to the sediment during mid-winter and autumn. The NH_4^+ flux showed transitions from sediment to water in winter and from water to sediment in summer. In conclusion, the fluxes of NO_3^- , NH_4^+ , and RP indicate that these components are sediment-derived.

Keywords: İzmir Bay, Homa Lagoon (Aegean Sea, Türkiye), Nutrient flux, Pore water, Sediment

İzmir Körfezi Homa Lagünü'nde Sediment ve Sediment Üstü Suda Nutrientler (Ege Denizi, Türkiye)

Özet: Biyogenik bileşiklerin bentik akışları, sığ su ekosistemlerinin biyogeokimyasında kritik bir rol oynar. Bentik akışların lagün ölçeğinde ölçülmesi, heterojen sediment yapıları ve sediment su arayüzündeki difüzyon ile advektif taşıma süreçlerinin birleşimi nedeniyle zordur. Bu çalışmada, İzmir Körfezi Homa Dalıyan'ı (Ege Denizi, Türkiye) sedimentinde aylık nutrient akış denemeleri gerçekleştirilmiştir. Reaktif silikat (RSi) akışı 14.6 ile 255.24 $\mu\text{gSi}/\text{m}^2/\text{saat}$ arasında, amonyum (NH_4^+) akışı 3.59 ile 95.8 $\mu\text{gN}/\text{m}^2/\text{saat}$ arasında, nitrit (NO_2^-) akışı 0.93 ile 13.99 $\mu\text{gN}/\text{m}^2/\text{saat}$ arasında, nitrat (NO_3^-) akışı 27.76 ile 300 $\mu\text{gN}/\text{m}^2/\text{saat}$ arasında, reaktif fosfat (RP) akışı 0.74 ile 5.80 $\mu\text{gP}/\text{m}^2/\text{saat}$ arasında değişim göstermiştir. Araştırma, RSi akışının yaz aylarında maksimum seviyeye ulaştığını, NO_3^- akışının kış ve yaz dönemlerinde hem sedimentten suya hem de sudan sedimente gerçekleştiğini ortaya koymuştur. NO_2^- akışının yaz dışında önemli ölçüde sedimente geçtiği belirlenmiştir. RP, yaz aylarında sedimentten suya geçerken, kış ortası ve sonbaharda sedimente bağlanmıştır. NH_4^+ , kış aylarında hem sedimentten suya hem de sudan sedimente akış yaparken yaz aylarında sudan sedimente akış göstermektedir. Sonuç olarak NO_3^- , NH_4^+ ve RP'nin sedimentten su kolonuna doğru akışı, bu bileşenlerin sediment kökenli olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: İzmir Körfezi, Homa Dalıyan'ı (Ege Denizi, Türkiye), Nutrient akışı, Pore suyu, Sediment

Article Info (Research)

1 Manisa Celal Bayar University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Biology Department, Manisa/Türkiye

2 Ege University, Faculty of Fisheries, Hydrobiology Department, İzmir/Türkiye

* Corresponding author:

ehyurur@gmail.com

Citation: Cingöz, E.E., Büyükişık, H. B., (2025), Nutrients in Sediment and Overlying Water in the Homa Lagoon of İzmir Bay (Aegean Sea, Turkey), Memba Water Science Journal, 11, (1) 10–23, <https://doi.org/10.58626/memba.1667313>

Submission Date: 12 January 2025

Acceptance Date: 12 March 2025

Publishing Date: 28 March 2025

1. Introduction

Over recent decades, the interplay of economic growth and rising population numbers, coupled with the rapid expansion of agriculture and industry in neighboring countries has resulted in increased discharges of fertilizers and wastewater into rivers and coastal waters. A significant portion of these nutrients ultimately deposits in the sediment layers (Grenz et al., 2010; Zhang et al., 2013; Jin et al., 2009; Lin et al., 2005). At the same time, inorganic nutrients (inorganic nitrogen, PO_4^{3-} and SiO_3 present in sediments can migrate into the overlying water, re-entering the euphotic zone, which is vital for sustaining nutrient balance and facilitating primary production in the water column. Increased nutrient loads can stimulate higher rates of algal growth and the accumulation of labile organic matter in surface sediments. Under these conditions, elevated mineralization rates can occur, modifying biogeochemical processes and promoting reactions that lead to the release of significant amounts of inorganic nutrients into the water column (Berelson et al., 1998). Therefore, sediments function not only as a major reservoir but also as a crucial source of nutrients, fulfilling an important environmental role (Zhang et al., 2013; Chelsky et al., 2016; Kim et al., 2016). Low concentrations or no oxygen at all in pore water and near-bottom water can result from currents not supplying sediment with enough dissolved oxygen to support degradation processes. This condition may result in the release of phosphates and ammonia stored in the sediment (Ingall & Jahnke, 1997; Duce et al., 2008). The release of phosphorus linked to reducible iron oxide phases contributes to increased benthic phosphorus fluxes (Ingall & Jahnke, 1997). Anoxic conditions obstruct denitrification which in turn diminishes the removal of nitrogen from aquatic systems in the form of dinitrogen gas (Jäntti & Hietanen, 2012). In oxygen-depleted environments, nitrate can undergo reduction to ammonium through the process of dissimilatory nitrate reduction (Jørgensen, 1989). This phenomenon exacerbates the 'vicious cycle' of eutrophication as nitrogen and phosphorus are recycled into bioavailable forms (Aller & Benninger, 1981; Conley et al., 2002; Diaz & Rosenberg, 2008). The flux of biogenic compounds from benthic environments is essential to understanding the biogeochemical processes occurring in shallow aquatic systems. Measuring these fluxes at the scale of a lagoon is complex particularly due to the heterogeneity of sediments and the interplay of diffusive and advective transport mechanisms at the sediment water interface. Nutrient fluxes from the benthic zone emerge from concentration gradients that exist between the pore waters in surface sediments and the water column. Increased export production and sediment degradation processes cause NH_4^+ , PO_4^{3-} , and Si to build because of the discrepancy between the greater solute concentration in the top most sediment layer and the concentrations in the bottom water. Diffusive fluxes result from this (Aller & Benninger, 1981). Water advection can also be produced by benthic creature activity (Aller, 1982). The crucial role of species identity and their ecological characteristics in the cycling of biogeochemical elements and the exchange of solutes at the sediment-water interface which has important implications for the ecological dynamics of overexploited regions (Alvarez et al., 2018; Kendzierska et al., 2020;). The Homa Lagoon serves as a crucial ecological and economic resource and stands as the only active lagoon within the İzmir Bay, situated in the Eastern Aegean Sea. It is one of nine lagoons found in the Mediterranean region of Western Anatolia, with a total area of around 1.424 hectares and is one of five lagoons located in İzmir Bay, alongside Çakalburnu, Çalibası, Kirdeniz and Ragıppasa. Among these lagoons, Homa Lagoon is distinguished by its extensive biodiversity and size. This lagoon features both freshwater and saltwater ecosystems, offering habitats for a variety of avian species, plant life, and aquatic organisms (Somay & Filiz, 2003). Its importance is amplified by its role in providing optimal nutrition, shelter and nesting sites for numerous species with differing habitat preferences. Furthermore, it regularly accommodates about 207 species of seabirds (Sıki, 2002). The Homa Lagoon is impacted by the Gediz River, which suffers from significant pollution resulting from agricultural runoff, industrial effluents and domestic sewage originating from the surrounding region (Uluturhan et al., 2011). This lagoon does not receive direct inputs from wastewater treatment facilities; however, the agricultural practices along the Gediz River have a notable effect on the lagoon's ecosystem. Fertilizers utilized in farming are transported to the lagoon, especially during rainy periods, via the Gediz River's mouth, the sea and various non-point sources (Minareci et al., 2009). The combination of sedimentation from the Gediz River and inadequate freshwater inflow has led to severe shallowing of the Homa Lagoon. In 2014, the İzmir Metropolitan Municipality initiated projects aimed at deepening the lagoon and enhancing water circulation (Uluturhan et al., 2011). The aim of this study is to assess the contribution of sediment derived nutrients within the Homa Lagoon.

2. Materials and Methods

2.1. Description of Study Area

The research area under consideration is Homa Lagoon, located at coordinates 38° 33' 10"N and 26°49'50"E, approximately 25 kilometers to the northwest of the Gulf of İzmir, within the administrative boundaries of Menemen (Fig.1). This lagoon covers an area of 1.800 hectares and features a beach that

stretches about 11 kilometers in length. The input of freshwater to the lagoon is significantly limited and there is a drainage canal that is occasionally opened to facilitate water flow into the lagoon. The lagoon's average depth is recorded at 0.75 meters during the wet season when water levels are elevated and 0.5 meters during the dry season when water levels recede. The lagoon is experiencing a rapid decrease in depth, attributed to seasonal fluctuations in the hydrological cycle and sediment runoff from adjacent agricultural areas (Sisman Aydın & Simsek, 2015; Tosunoglu et al., 2015).

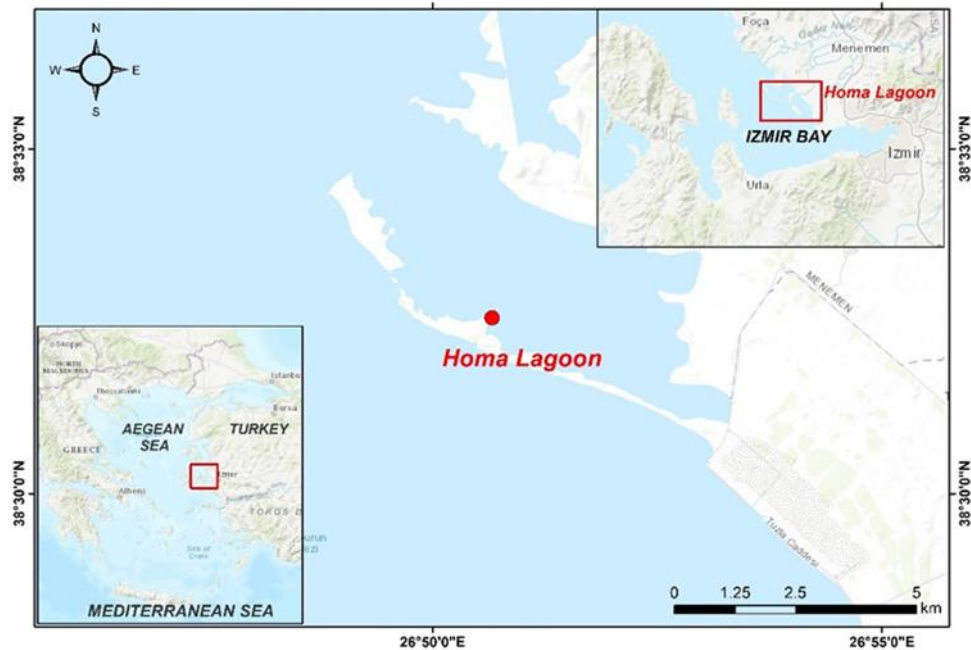


Figure 1. Topographic map of the Homa Lagoon and the location of water and sediment sampling

The lagoon is recognized as one of the ten most productive lagoons in the Eastern Aegean Sea and serves as the only active fish trap in İzmir Bay. It is located in close proximity to Turkey's most significant salt pan and the İzmir Bird Paradise. Both Homa Lagoon and Gediz Delta have been designated as protected wetlands under the RAMSAR and Bern Conventions, highlighting their importance in terms of biodiversity and conservation efforts (Ermer, 2003; Parlak et al., 2006). The Lagoon area is interconnected with İzmir Bay at various points through channels that facilitate water exchange. It consists of two sections: the Homa Lagoon (the main channel) and the Kirdeniz Lagoon (the smaller channel). The smaller channel has become shallower due to the sediment carried by the Gediz River, resulting in a loss of its channel characteristics. In the larger channel section selected for study, the maximum depth is 80 cm, while the average depth ranges from 40 to 45 cm. The Homa Lagoon is adversely affected by the organic and inorganic pollution loads from the Gediz River, which is one of the significant rivers in the Aegean Region, as well as from İzmir Bay.

2.2. Sampling and Analysis

Sediment samples were systematically collected on a monthly basis from a designated station at the lagoon's sea connected point, which constitutes the focal area of this study from January 2006 to December 2006. Notably, sampling was not feasible in March due to unfavorable weather conditions. The sediment was extracted using a gravity corer, featuring a core barrel with an inner diameter of 4.7 cm. The apparatus was secured at both ends, ensuring that the samples remained undisturbed during transportation to the laboratory, where they were kept upright in a plastic container at a temperature of 0°C. To make it easier to recover sediment layers, the core samples were divided into 4 cm slices in the lab using a tool that had a plastic bordered plate and a piston that was in line with the core pipe. A 10 ml injector, modified by cutting off its tip, was utilized to collect sediment samples of uniform volume by inserting it directly into the sediment matrix. The assessment of chlorophyll degradation products within the sediment was conducted in accordance with Lorenzen (1971).

2.2.1. Sediment Pore Water Parameters

A pore water extraction device was applied to the first 10 cm of sediment that was taken from a different core sample taken at the same spot. A two-layer GF/C filter paper was used to filter the sediment's pore water under pressure, producing a clean 50 ml liquid. The methods developed by Strickland & Parsons (1972) were used to assess the concentrations of nutrients (NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- , PO_4^{3-} and SiO_2).

2.2.2. Water Column Parameters

At the sample station, measurements were made of temperature, salinity, dissolved oxygen, and the percentage of dissolved oxygen saturation. Salinity was calculated using Harvey's argentometric technique (Martin, 1972). The concentration of dissolved oxygen was measured using the Winkler method, while the saturation level of oxygen was calculated using the equations established by Benson & Krause (1984). This approach ensures accurate assessment of oxygen levels in the study area. Monthly water samples were collected vertically from the surface to the bottom at this station. Nutrient analyses were conducted in accordance with the procedures outlined by Strickland & Parsons (1972), utilizing the Hach Model DR-4000 spectrophotometer for accurate measurements.

2.2.3. Benthic Flux Incubations

In order to maintain consistent thermal conditions, the core samples were incubated at in situ bottom water temperatures. A hose attached to the core was used to introduce bottom water, which increased the volume of the sediment to 200 milliliters. The trials were conducted over a 24 hour period in order to minimize any potential variations in flux levels brought on by the oxygenation of the water covering the sand. Water samples taken from the surface using a siphon at the start and end of a day served as the basis for the measurements. To prevent upsetting the top layer of silt, the water above it was carefully blended. GF/C filter paper was used to filter about 100 milliliters of the resultant sample. A Milipore HA 0.45 μm filter paper was used for silicate analysis. Following the procedures outlined by Strickland & Parsons (1972), the amounts of ammonium, nitrite, nitrate, silicate and phosphate in the filtered samples which had been diluted with distilled water were examined. Aller & Benninger's (1981) equations served as the foundation for the computations.

$$J = V_t (C_t - C_0) / t.A$$

where J =nutrient flux rate ($\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{day}$), A =core surface area, V_t =the water volume on the surface of the core at the time of t , C_t =the solute concentration at the time of t , C_0 =the solute concentration at the onset of the experiment, t =sampling day (onset of the experiment is considered as 0).

3. Results and Discussion

3.1. Sediment Solid Phase Parameters

The composition of sediments in cores collected at the depths of 4, 8, 12, 16 and 20 cm of the sampling station. Sediment composition indicating that a single mode was identified at certain depths, but not at others. The minimum and maximum levels of the dry and wet mud densities were found to be 1.80–2.90 and 1.18–1.62 g/ml, respectively. The estimated porosity of the sediment is 74%. Since the pore water was obtained from the 10 cm core sample the diffusive fluxes were not able to be calculated however its direction was determined. The observation that the vertical distribution of organic carbon did not show variability in the core samples collected from different months. The monthly variations of organic carbon in the dynamic surface sediment ranged from 1.07–3.39 %.

3.2. The Spatio-Temporal Distribution of the Water Column Parameters

It is deduced from the water column's spatiotemporal salinity variations shows a significant increase in August and November (40‰) (Fig. 2a). This increase is attributed to evaporation resulting from the lack of water extraction from Tuzla's inlet. In April and May, rainfall causes the salinity to drop below 30‰. Additionally, there is a marked increase in temperature from June to October (Fig. 2b).

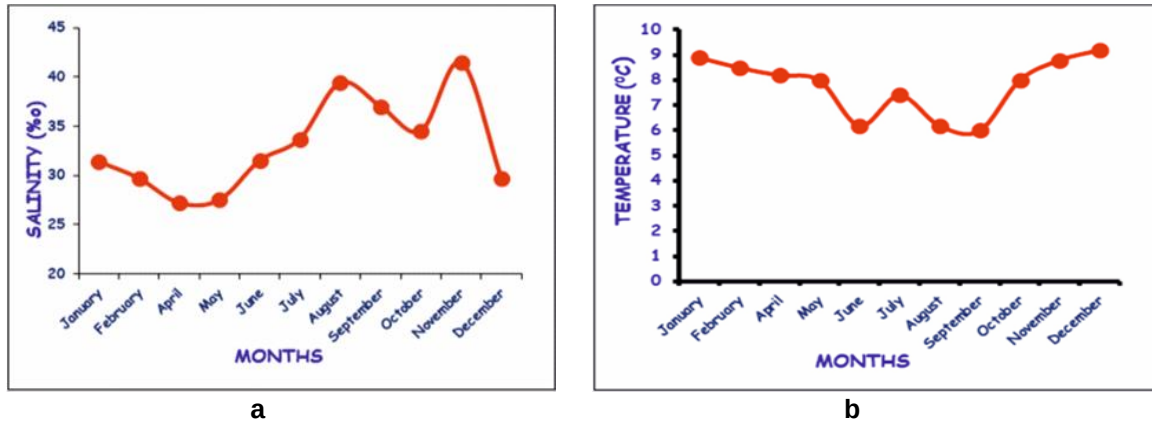


Figure 2. The spatio-temporal distribution of salinity (a) and temperature (b) at the station at Homa Lagoon surface water

Salinity was correlated with the distribution of dissolved oxygen (DO) levels and dissolved oxygen saturation percentage. A significant increase in temperature which began in June, led to noticeable decreases in dissolved oxygen concentrations in August and September (Fig. 3 a,b). This situation indicates the presence of heterotrophic activity in the environment. Although saturation concentrations decreased with the rise in temperature, the reduction in saturation percentage must be related to the respiration of aquatic animals. The increase in temperature in July correlates with the decrease in saturation. In August and September, the maximum temperatures reached in surface waters also resulted in reduced oxygen solubility. Therefore, the saturation percentage should have approached 100%. However, the drop in saturation to levels between 60-70% may be attributed to the respiration of the developing fish population and other aquatic organisms within the environment (Kristensen & Kostka, 2005; Timmermann et al., 2006).

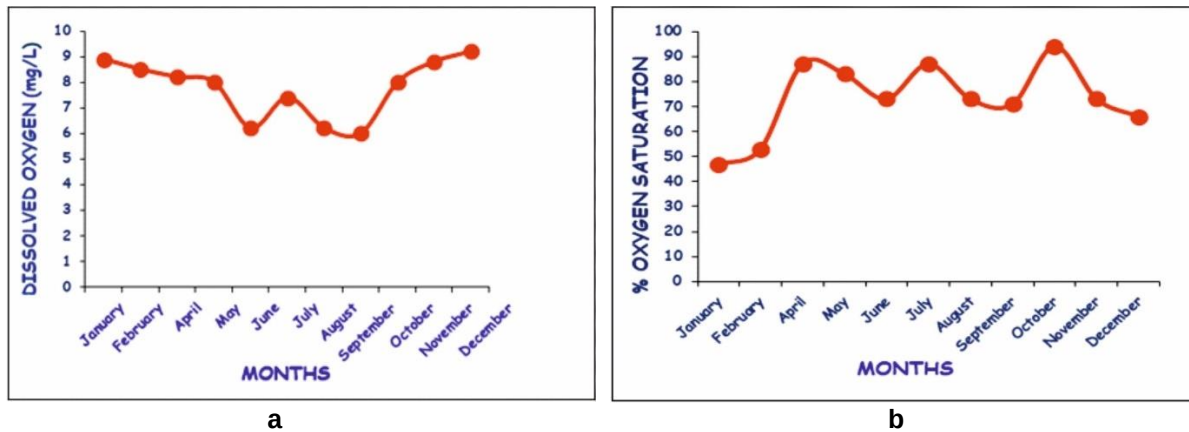


Figure 3. The spatio-temporal distribution of dissolved oxygen concentration (a) and percent oxygen saturation (b) at Homa Lagoon surface water

There is a maximum increase in reactive phosphorus (RP) in February and July (Fig. 4a). When examining the temporal variations of reactive silica (RSi), a maximum increase is observed in July. Additionally, there is a second maximum in silica in September (Fig. 4b).

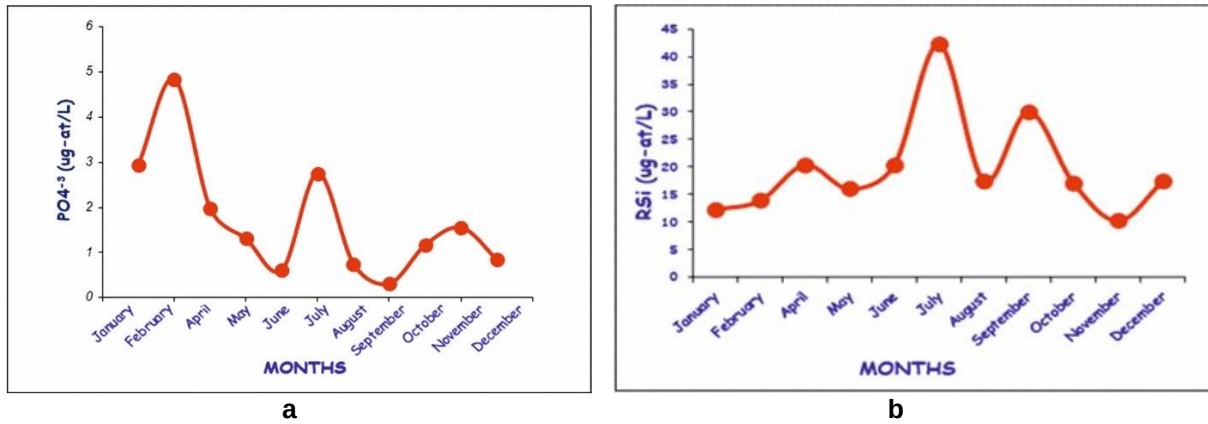


Figure 4. The spatio-temporal distribution of the phosphorus (a) and reactive silicate (b) concentrations at Homa Lagoon surface water

When examining the temporal changes of NH_4^+ , NO_2^- , and NO_3^- , it is observed that during January, February and April, they exhibit parallel distributions at low temperatures. In May, a maximum of NO_2^- is observed, followed by a maximum of NO_3^- in July (Fig. 5a,b). In the autumn months, the increase in NH_4^+ is followed by increases in NO_2^- and NO_3^- (Fig. 6a). This indicates that nitrification continues in the shallow lagoon water as well.

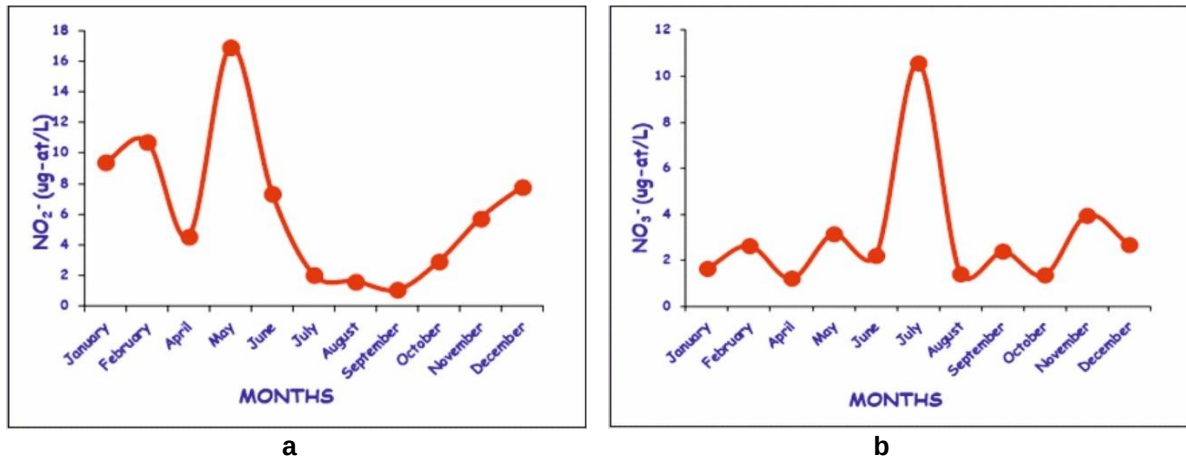


Figure 5. The spatio-temporal distribution of nitrite (a) and nitrate (b) concentrations at Homa Lagoon surface water

The maximum increases in Chlorophyll-a observed in July and December correspond with high concentrations of PO_4^{3-} , RSi and NO_3^- in July, reflecting the impact of nutrients on primary production (Fig. 6b).

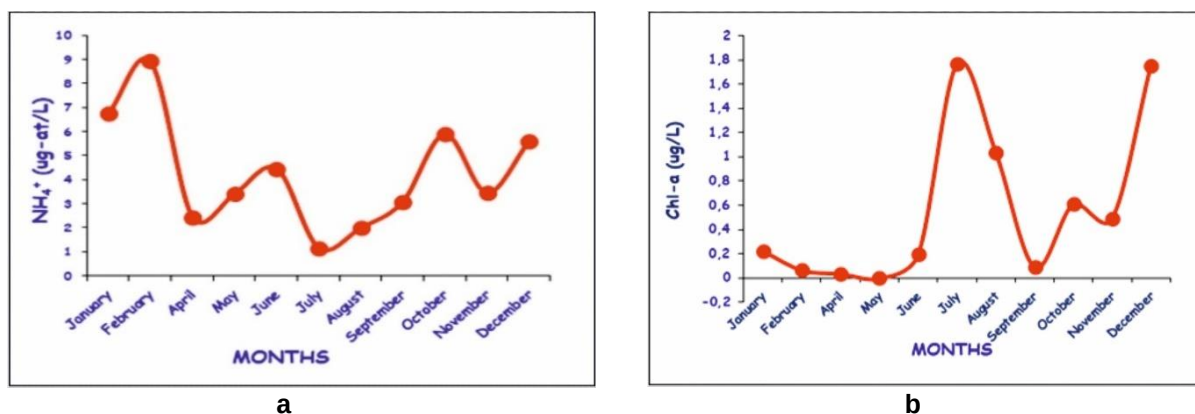


Figure 6. The spatio-temporal distribution of ammonium (a) concentrations and Chlorophyll-a concentrations (b) at Homa Lagoon surface water

In February, a decrease of 0.2 in pH was observed and in November, a significant decrease of 0.9 in pH was noted indicating respiratory activities (Fig. 7). Indeed, the reduced Chlorophyll-a concentrations in November also suggest heterotrophic activity.

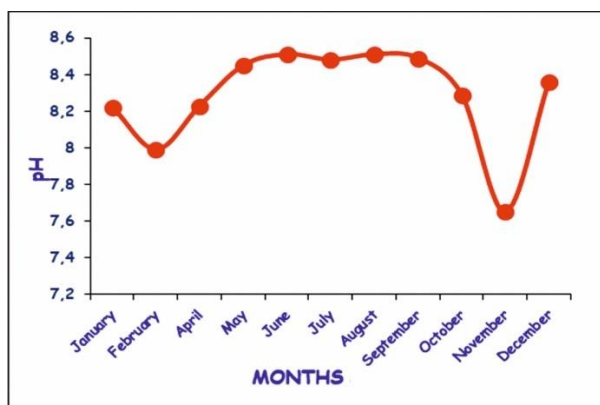
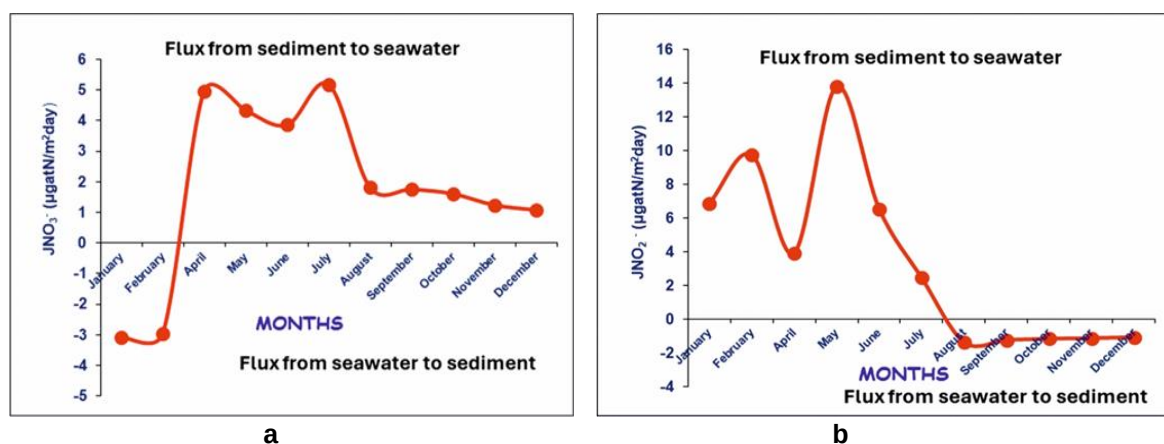


Figure 7. The spatio-temporal distribution of pH at Homa Lagoon surface water

3.3. Nutrient Fluxes in Sediment

Temporal changes in nutrient flux are illustrated in Fig. 8. Nitrate fluxes from water to sediment were recorded at $3.07 \mu\text{gNm}^{-2}\text{day}^{-1}$ in January and $2.96 \mu\text{gNm}^{-2}\text{day}^{-1}$ in February, respectively (Fig. 8a). Nitrate flux from sediment to water persisted from April to December, exhibiting minimum and maximum values of $1.08 \mu\text{gNm}^{-2}\text{day}^{-1}$ in December and $5.19 \mu\text{gNm}^{-2}\text{day}^{-1}$ in July, respectively. Nitrite flux from sediment to water was observed from January to July. The maximum and minimum values were recorded in July and May, with measurements of 13.8 and $2.44 \mu\text{gNm}^{-2}\text{day}^{-1}$, respectively (Fig. 8b). Nitrite fluxes from water to sediment were measured at $1.38 \mu\text{gNm}^{-2}\text{day}^{-1}$ in August and $1.08 \mu\text{gNm}^{-2}\text{day}^{-1}$ in December. Ammonium flux from water to sediment was recorded at $3.27 \mu\text{gNm}^{-2}\text{day}^{-1}$ in January and $2.62 \mu\text{gNm}^{-2}\text{day}^{-1}$ in February (Fig. 8c). From April to December, a flux of ammonium from sediment to water was observed. The flux from sediment to water showed maximum and minimum values of $10.53 \mu\text{gNm}^{-2}\text{day}^{-1}$ in April and $1.02 \mu\text{gNm}^{-2}\text{day}^{-1}$ in December, respectively. In January, the RP flux from water to sediment was measured at $1.01 \mu\text{gatPm}^{-2}\text{day}^{-1}$ while in February, it was $0.62 \mu\text{gatPm}^{-2}\text{day}^{-1}$ (Fig. 8d). The flux from sediment to water ranged from $4.84 \mu\text{gatPm}^{-2}\text{day}^{-1}$ in April to $0.23 \mu\text{gatPm}^{-2}\text{day}^{-1}$ in July. The silicate flux was observed in January and February, showing values of $0.8 \mu\text{gatSim}^{-2}\text{day}^{-1}$ and $1.82 \mu\text{gatSim}^{-2}\text{day}^{-1}$, respectively for the water to sediment direction (Fig. 8e). The silicate flux from sediment to water continued from April through December with maximum and minimum values recorded in April ($10.4 \mu\text{gatSim}^{-2}\text{day}^{-1}$) and July ($3.7 \mu\text{gatSim}^{-2}\text{day}^{-1}$), respectively.



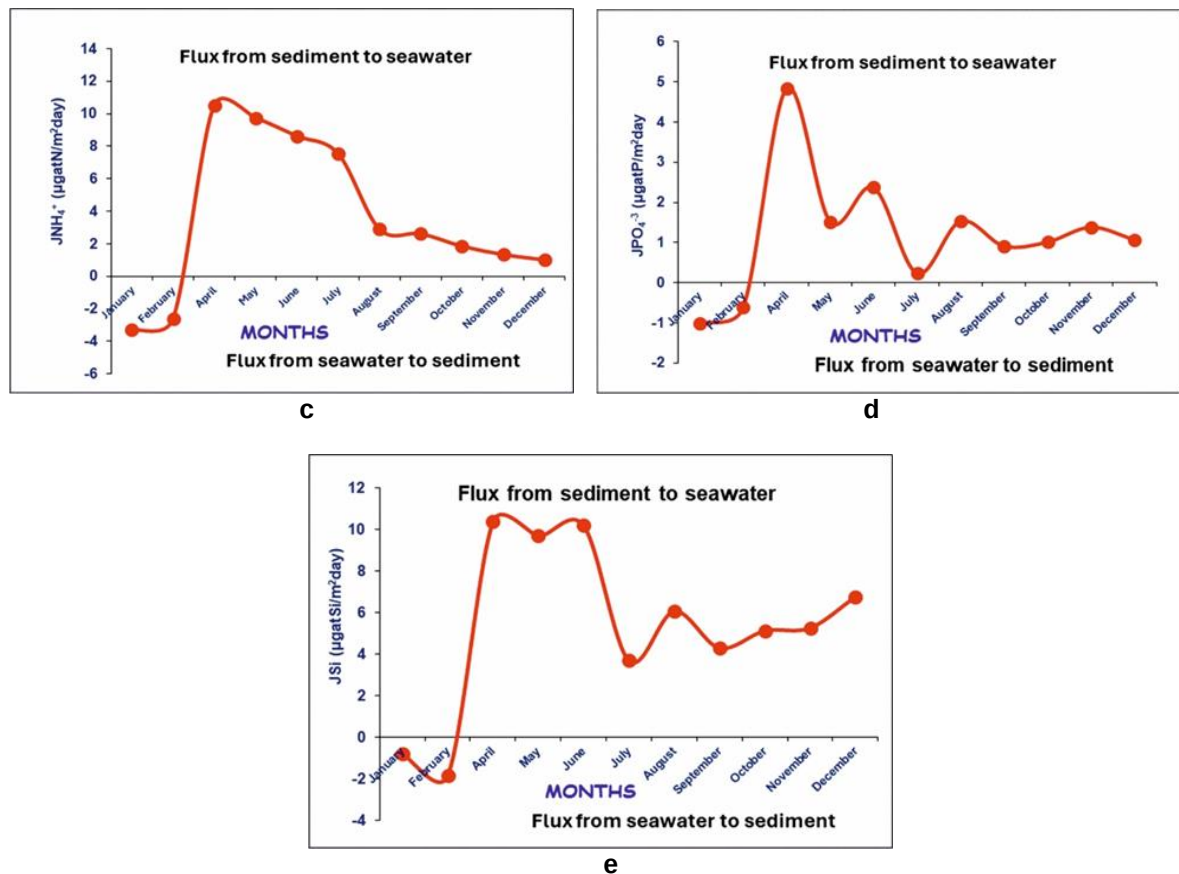
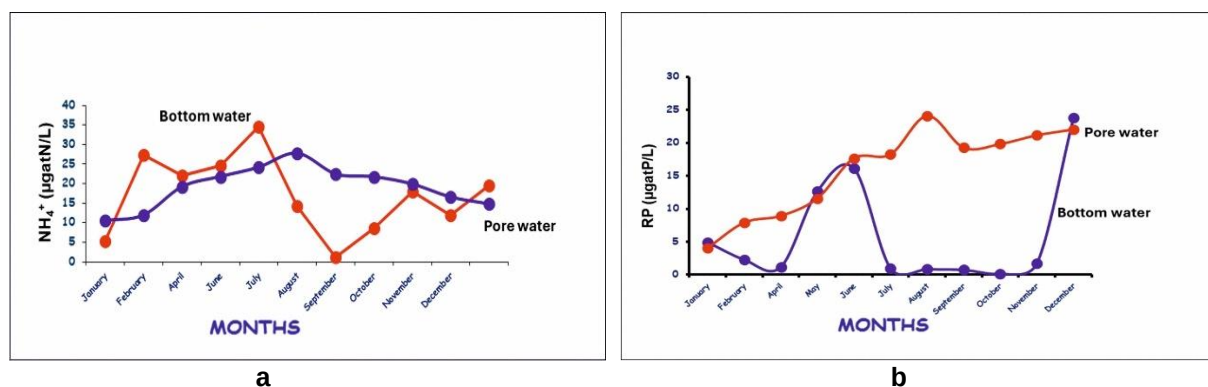


Figure 8. The monthly variation of NO₃⁻ (a), NO₂⁻ (b), NH₄⁺ (c), PO₄³⁻ (d) and Si (e) obtained from core incubations at Homa Lagoon surface sediment

3.4. Solute-Temporal Variations in Bottom and Pore Waters

Between January and July, the concentrations of ammonium in pore water varied, reaching a minimum of 10.52 μgatN/l and a maximum of 27.74 μgatN/l. The ammonium concentrations in bottom water varied more than those in pore water, ranging from 19.2 to 48.7 μgatN/l between January and July, respectively (Fig. 9a). Bottom water nitrate concentrations fluctuated from 6.27 μgatN/l in January to 12.05 μgatN/l in December. Notably, the minimum concentration was recorded at 4.78 μgatN/l in December, while the maximum reached 13.21 μgatN/l in June (Fig. 9d). Pore water nitrite concentrations ranged from 5.75 μgatN/l in January to 32.93 μgatN/l in December. In contrast, bottom water nitrite concentrations varied from 7.32 μgatN/l in January to 31.87 μgatN/l in December (Fig. 9e). Bottom water reactive phosphate (RP) concentrations ranged from 4.94 μgatP/l in January to 23.78 μgatP/l in December. Meanwhile, pore water RP concentrations increased from a minimum of 4.02 μgatP/l in January to a maximum of 24.13 μgatP/l in August. Notably, there was a consistent rise in RP concentrations from January to August (Fig. 9b). Pore water silicate concentrations varied from a minimum of 5.92 μgatSi/l in February to a maximum of 22.83 μgatSi/l in July. In comparison, bottom water silicate values ranged from 6.12 μgatSi/l in February to 22.16 μgatSi/l in December (Fig. 9c). Between January and December, silicate concentrations exhibited a general upward trend in both bottom water and pore water.



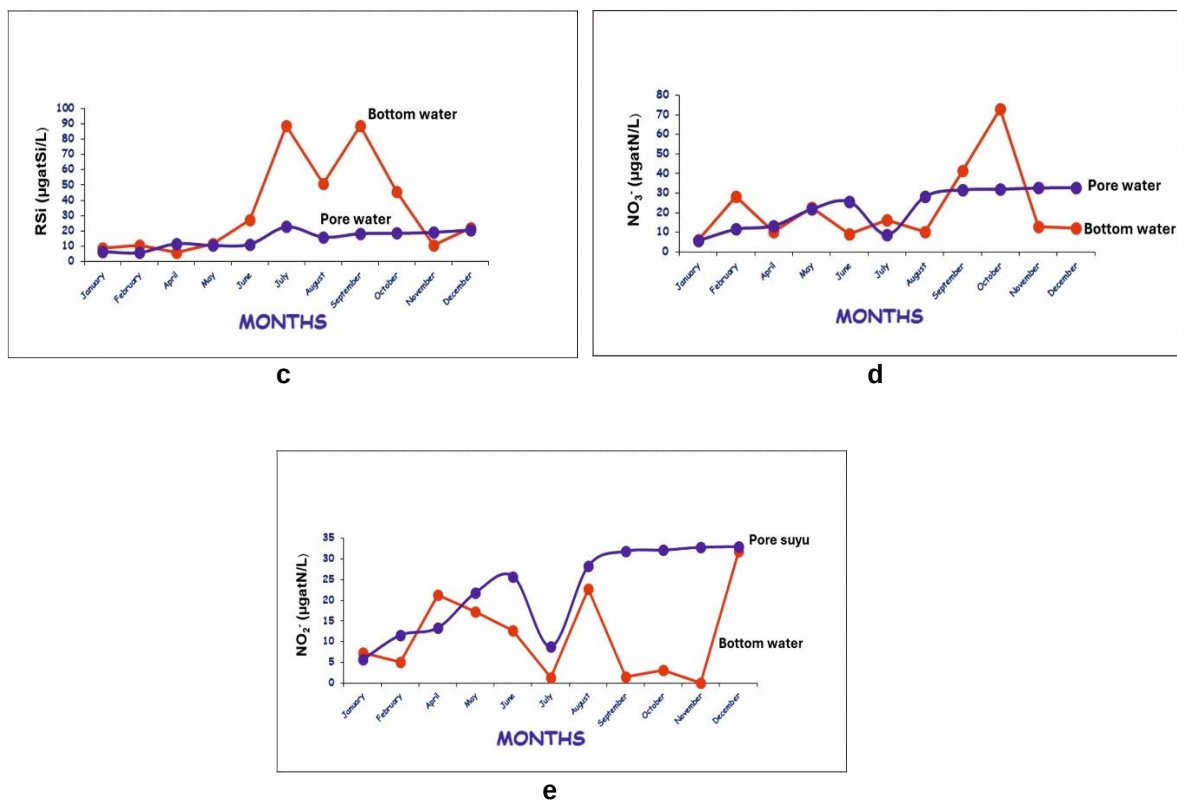


Figure 9. The monthly variations of bottom water NH_4^+ (a), RP (b), RSi (c), NO_3^- (d) and NO_2^- (e) concentrations at Homa Lagoon surface sediment

The concentrations of bottom water NH_4^+ show high variability from late winter until June, rapidly decreasing during the summer months and remaining below pore water levels until December. The significant decline in bottom water NH_4^+ concentrations in July and August can be explained by the relative increase in phytoplankton uptake, as evidenced by elevated Chlorophyll-a concentrations. In other words, the formation of bottom water NH_4^+ concentrations below pore water levels can be attributed to microalgal uptake. The flow of NH_4^+ from water to sediment in January is contrary to diffusive flow. This flow can be explained by benthic microalgal uptake (BMA) and/or the adsorption to clay minerals. The sediment to water flow in February, contrary to diffusive flow can be explained by the degradation of a past algal bloom. In June, both the diffusive flow and incubation flow are in the same direction, indicating both diffusion and absorption by clay minerals. The incubation flow obtained in September, consistent with diffusion represents diffusive flow. The concentrations of bottom water and pore water in October, which are nearly identical, indicate the absence of diffusive flow; however, it can be explained by the benthic microalgae uptake (BMA) and the involvement of clay minerals. In November, pore waters contain higher NH_4^+ concentrations than bottom waters, and the flow obtained from core incubation is identical to the diffusive flow. In addition to diffusive flow. Degradation of the sediment surface layer may potentially contribute NH_4^+ to the water column. The concentrations of NH_4^+ in surface water are noteworthy, exceeding $80 \mu\text{gN/l}$ levels in May and June. Salinity is at its lowest values indicating that the outflow of water is associated with NH_4^+ from non point sources during rainfall. This concentration rapidly decreases from May reaching zero by September. This decline is influenced by the influx of water into the bay in June and the contributions of chlorophyll maximum and nitrification (the nitrification of NH_4^+ to NO_2^-) in July. The turbidity caused by frequent mixing of the water column due to winds should also have an effect on the continuation of nitrification. This process proves to be particularly effective in shallow water environments (Fagherazzi et al., 2007, 2013; Ganju et al., 2005, 2013; Carniello et al., 2005). The ammonium (NH_4^+) fluxes, which can reach a maximum of $7000 \mu\text{gN/m}^2/\text{day}$, align with the low flux values documented for salt marshes (Barbanti et al., 1995; Essonni, 1998; Hyacinthe et al., 2001). Furthermore, these fluxes are lower than those reported by Ozkan et al. (2008) for İzmir Bay and by Bonometto et al. (2019) for salt marshes, yet they are comparable to the values presented by Mna et al. (2022). The presence of negative values in NH_4^+ flux suggests that the nitrification of ammonium in the upper sediment layer is a critical process in wetland ecosystems. In terms of nitrate (NO_3^-) concentrations, both bottom water and pore water exhibit no diffusive fluxes in January, while incubation fluxes are significantly high and directed from sediment to water. This phenomenon can be attributed to the nitrification process converting nitrite (NO_2^-) to nitrate (NO_3^-). Notably,

the influx of NO_2^- into the sediment is also considerably elevated. From April to June, diffusive fluxes occur from sediment to water. Conversely, incubation fluxes are directed from water to sediment and tend to be higher during the summer months. It can be concluded that the nitrification-denitrification process functions optimally in June. The concentrations of nitrate (NO_3^-) in the bottom water showed small increases in February, May and July, followed by a significant increase in September and October. The pore water NO_3^- values exhibited an upward trend throughout the year, except for July. In September and October, the diffusive flow is directed from water to sediment. In September, the incubation flow is reversed, indicating the dominance of nitrification. In October, the flow is aligned with the diffusive direction, suggesting both diffusion and nitrification-denitrification processes. Indeed, the high concentrations of nitrite (NO_2^-) in pore water from late summer to December indicate that nitrification is progressing. The surface water concentrations of NO_3^- exhibit two notable maxima: one during the months of April, May and June and another in December. The high values observed in April and May are attributed to terrestrial inputs while the peak in June is influenced by nitrification. These concentrations decline in July coinciding with an increase in Chlorophyll-a. The increase in December can be explained by inputs from both sediment and terrestrial sources due to rainfall. The estimated fluxes indicate that nitrates are produced below the sediment-water interface. This finding aligns with the processes of NO_3^- production or consumption occurring in sediments, which globally results in NO_3^- production in oxic sediments and consumption in less oxygenated sediments (Belias et al., 2007; Rigaud et al., 2013). In January, the fluxes of NO_3^- can reach a maximum value of $40.000 \mu\text{gN/m}^2/\text{day}$ which is higher than the value reported by Mna et al. (2022). At the sampling station, which has a sediment structure similar to that of a saline marsh channel (%27 coarse material), the NO_3^- flux in September was close to the value reported by Murray et al. (2006). However, the maximum value of $40.000 \mu\text{gN/m}^2/\text{day}$ in January is ten times higher, indicating that nitrification is significantly more effective in the Ancao basin. Pore water NO_2^- concentrations are generally high in bottom waters, except in April. Diffusive flows should be directed from the sediment to the water. However, all incubation flows are directed from the water to the sediment, suggesting that this nutrient is significantly converted to NO_3^- through nitrification in the sediment. There has been a significant decrease in bottom water values in July, which is also reflected in pore water. During this month, characterized by high temperatures, it may indicate nitrification along with denitrification and/or increased Chlorophyll-a concentrations. While pore water values continue to rise from August onwards, bottom water values approach zero from September to November. In December, there is again an increase in bottom water concentrations, approaching those of pore water. The surface water concentrations of NO_2^- remain below $10 \mu\text{gN/l}$ throughout the year with the maximum value detected in May indicating the presence of NO_2^- from terrestrial regions due to rainfall. Bottom water RP concentrations show an increase in May, June and December while they are low in other months. Pore water concentrations rise from $4.02 \mu\text{gRP/l}$ in January to $24.13 \mu\text{gRP/l}$ in August. The sediment of Homa Lagoon has been found to be an effective phosphate trap. The values in the water continuously contribute to pore water. Incubation experiments indicate that, despite the RP flows not being purely diffusive there is evidence of benthic microalgae uptake (BMA) and potential incorporation into the sediment through binding with FeOOH (ferrihydrite) from January onwards (Blomqvist et al., 2004). From February to June, the incubation flows are consistent with diffusive flows, suggesting that the diffusive flow can explain the incubation flow. Additionally, the decomposition of benthic detritus may also contribute to the sediment. In September, the diffusive flow is directed from the sediment to the water. However, the incubation flow is directed from the water to the sediment and can be explained by benthic microalgae uptake (BMA) or binding to FeOOH. Ferric oxyhydroxides found in sediments interact with phosphate (PO_4^{3-}). Under anaerobic conditions, these compounds release dissolved iron (Fe^{+2}), causing phosphate to enter the water. When Fe^{+2} comes into contact with oxygenated water, it precipitates again as ferric oxyhydroxide (FeOOH) and adheres to particulate matter, dispersing between sediment and overlying water. This process plays an important role in nutrient cycles and sediment chemistry (Aller & Benninger, 1981). In October, the reverse direction of the incubation flow with diffusive flow may also be related to benthic microalgae uptake (BMA) and binding to FeOOH, similar to September. The concentrations of RP in surface water remain low throughout the year ($< 2.8 \mu\text{gRP/l}$), with increases in February attributed to flow from the sediment. It can also be stated that the increases observed in December, May and June originate from the sediment. The concentrations of RP in surface water are transported to the sediment through adsorption onto FeOOH and clay minerals. The consistently low levels detected throughout the year support this. The low flow rates of the RP are consistent with the sediment particle structure provided by Moraes et al. (2023), which contains 27-30% clay and the measured values are three times lower for saline wetlands. In this process, the coastal structure of the particulate material may also be significant. The concentrations of reactive silica (RSi) in the bottom water are nearly identical to the pore water concentrations from late autumn to early spring (including winter months). Starting from June and continuing until late autumn, two significant increases in bottom water RSi concentrations are evident (in July and September). In contrast, pore waters have shown relatively smaller variations, ranging from $5.92 \mu\text{gSi/l}$ to $22.83 \mu\text{gSi/l}$. Since the RSi in pore water is influenced solely by factors affecting the solubility of particulate silica, it is noteworthy that the frequent decrease in pore waters

obtained from sediments at the end of incubation experiments indicates that the very high silica concentrations in bottom water (for example, in September) suggest that RSi flow has significantly completed, and therefore, the experimental flow is quite low. The relatively lower bottom water value in August compared to July and September indicates that the RSi flow has not yet been completed. Indeed, RSi flow reaches its highest value. In silicate flows, the core incubation flow in January is the same as the diffusive flow. Except for November, the diffusive flow is directed from water to sediment during all months, while core incubations are directed from sediment to water from February to November. The disintegration of diatom skeletons in the sediments top layer is what causes the contrast with diffusive flow. However, the diffusive flow is redirected from sediment to water in November. Conversely, the incubation flow is directed from water to sediment, reflecting benthic microalgae uptake. In surface waters, RP and RSi concentrations are higher and are consistent with the increases observed in bottom waters during June, July and October. The relatively high RSi values in surface waters may be attributed to water entering from the İzmir Bay, the RSi flow from sediment and terrestrial sources. At the same time, nutrients released from the oxidation of organic matter at the sediment-water interface can provide a substantial fraction (5-22%) of the nitrogen and phosphate requirements essential for primary production in lagoons. This underscores the critical role of sedimentary nutrient dynamics in supporting the productivity of these aquatic ecosystems. (Lourey et al., 2001; Denis and Grenz, 2003; Kim et al., 2020). During core incubations, phosphate and silicate fluxes were oriented towards the sediment. This could be related to the photosynthetic processes of the microphytobenthos at the sediment water interface. The values given for Si fluxes are consistent with those reported by Ozkan et al. (2008) and Charbonnier et al. (2023). However, the value of 10.000 $\mu\text{gSi}/\text{m}^2/\text{day}$ reported by Aller and Benninger (1981) for 20 °C is smaller than the measured value of 35.000 $\mu\text{gSi}/\text{m}^2/\text{day}$ at 28 °C in August. Recent research advocates for the adoption of ecosystem based strategies aimed at minimizing both external and internal nutrient inflows, thereby fostering sustainable biogeochemical processes. Such strategies may encompass aeration, modifications to hydrological patterns (enhanced circulation), the removal of degraded sediments (through dredging) and focused restoration of habitats and shorelines (Harris et al., 2015; Fox & Trefry, 2018; Fox & Trefry, 2023; Ma et al., 2022a,b). These globally employed techniques also present themselves as a promising approach for the Homa Lagoon (İzmir Bay), which is characterized by elevated nutrient levels.

4. Conclusion

Nutrient flux across the sediment-water interface has been assessed for Homa Lagoon with the following findings:

1. The nutrients evaluated were ammonium (NH_4^+), nitrate (NO_3^-) + nitrite (NO_2^-), reactive phosphate (RP) and reactive silicate (RSi). The flux of these nutrients exhibited significant variability across different months.
2. The flux values recorded were NH_4^+ ranging from 3.59 to 95.8 $\mu\text{gN}/\text{m}^2/\text{hour}$, NO_2^- from 27.76 to 300 $\mu\text{gN}/\text{m}^2/\text{hour}$, RP from 0.74 to 5.80 $\mu\text{gP}/\text{m}^2/\text{hour}$, and RSi from 14.6 to 255.24 $\mu\text{gSi}/\text{m}^2/\text{hour}$. These values reflect the general observation that NH_4^+ was released from sediments while NO_2^- was taken up by the water, although the net flux of dissolved inorganic nitrogen was out of the sediments. In contrast, RP tended towards a steady-state condition. RSi flux generally occurred from sediment to water. Overall, the flux determined in this study was at the high end of the range when compared to other studies. Additionally, it was identified that nitrification and denitrification processes are significant for Homa Lagoon.
3. Ecosystem-based approaches necessitate the reduction of both external and internal nutrient loads to promote biogeochemical processes in Homa Lagoon.

5. Compliance with Ethical Standard

a) Author Contributions

1. E.E.Y.: Conceptualization, process, software, verification, formal analysis, research, materials, composing the first draft, composing the review, and editing,
2. H.B.B.: Conceptualization, process, software, verification, formal analysis, inquiry, materials, data curation, authoring the first draft, reviewing and revising it, visualization, and oversight. The published version of the manuscript has been read and approved by both authors.

b) Conflict of Interests

There is no conflict of interest, according to the authors.

c) Statement on the Welfare of Animals

Not relevant

d) Statement of Human Rights

There are no human subjects in this study.

e) Funding

This study was supported by Manisa Celal Bayar University Scientific Research Project Coordination (BAP) (Project No. FEF-064). This study contains a part of PhD dissertation prepared by Emine Erdem Yürür in Manisa Celal Bayar University.

6. References

- Aller, R. C. (1982). The effects of macrobenthos on chemical properties of marine sediment and overlying water. In: McCall, P.L., Tevesz, M.J.S. (Eds.), *Animal-Sediment Relations*. Plenum. New York, pp. 53–102.
- Aller, R. C., & Benninger, L. K. (1981). Spatial and temporal patterns of dissolved ammonium, manganese and silica fluxes from bottom sediments of Long Island Sound, USA. *Journal of Marine Research*, 39(2): 295–314.
- Alvarez, M. F., Bazterrica, M. C., Fanjul, E., Addino, M. S., Valiñas, M. S., Iribarne, O. O. & Botto, F. (2018). Effects of two estuarine intertidal polychaetes on infaunal assemblages and organic matter under contrasting crab bioturbation activity. *Journal of Sea Research*, 139: 33–40. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2018.06.008>
- Barbanti, A., Bergamini, M. C., Frascari, F., Miserocchi, S., Ratta, M. & Rosso, G. (1995). Diagenetic processes and nutrient fluxes at the sediment-water interface, Northern Adriatic Sea. Italy. *Marine and Freshwater Research*, 46: 55–67 <https://doi.org/10.1071/MF9950055>
- Belias, C., Dassenakis, M. & Scoullou, M. (2007). Study of the N, P and Si fluxes between fish farm sediment and seawater. Results of simulation experiments employing a benthic chamber under various redox conditions. *Marine Chemistry*, 103 (3-4): 266–275 <https://doi.org/10.1016/j.marchem.2006.09.005>
- Benson, B. B. & Krause Jr, D. (1984). The concentration and isotopic fractionation of oxygen dissolved in fresh water and sea water in equilibrium with the atmosphere. *Limnology and Oceanography*, 29 (3): 620–632 <https://doi.org/10.4319/lo.1984.29.3.0620>
- Berelson, W. M., Heggie, D., Longmore, A., Kilgore, T., Nicholson, G. & Skyring, G. (1998). Benthic Nutrient Recycling in Port Phillip Bay, Australia. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 46: 917–934 <https://doi.org/10.1006/ecss.1998.0328>
- Blomqvist, S., Gunnars, A. & Elmgren, B. (2004). Why the limiting nutrient differs between temperate coastal seas and freshwater lakes: A matter of salt. *Limnology and Oceanography*, 49 (6): 2236–2241 <https://doi.org/10.4319/lo.2004.49.6.2236>
- Bonometto, A., Feola, A., Rampazzo, F., Gion, C., Berto, D., Ponis, E. & Boscolo Brusà, R. (2019). Factors controlling sediment and nutrient fluxes in a small microtidal salt marsh within the Venice Lagoon. *Science of the Total Environment*, 650: 1832–1845. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.142>
- Carniello, L. A. Defina, Fagherazzi, S. & D'Alpaos, L. (2005). A combined Wind Wave-Tidal Model for the Venice lagoon, Italy. *Journal of Geophysical Research*, 110, F04007. doi:10.1029/2008JF001157
- Charbonnier, C., Anschutz, P., Tamborski, J. & van Beek, P. (2023). Benthic fluxes and mineralization processes at the scale of a coastal lagoon: Permeable versus fine-grained sediment contribution. *Marine Chemistry*, 254: 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.marchem.2023.104274>
- Chelsky, A., Pitt, K. A., Ferguson, A. J. P., Bennett, W. W., Teasdale, P. R. & Welsh, D. T. (2016). Decomposition of jellyfish carrion in situ: short-term impacts on infauna, benthic nutrient fluxes and sediment redox conditions. *Science of The Total Environment*, 566 (567): 929–937. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.05.011>
- Conley, D. J., Humborg, C., Rahm, L., Savchuk, O. P. & Wulff, F. (2002). Hypoxia in the Baltic Sea and basin-scale changes in phosphorus biogeochemistry. *Environmental Science & Technology*, 36: 5315–5320. <https://doi.org/10.1021/es025763w>
- Denis, L. & Grenz, C. (2003). Spatial variability in oxygen and nutrient fluxes at the sediment-water interface on the continental shelf in the Gulf of lions (NW Mediterranean). *Acta Oceanologica*, 26, 373–389. [https://doi.org/10.1016/S0399-1784\(03\)00017-3](https://doi.org/10.1016/S0399-1784(03)00017-3)
- Diaz, R. J. & Rosenberg, R. (2008). Spreading dead zones and consequences for marine ecosystems. *Science*, 321: 926–929. <https://doi.org/10.1126/science.1156401>
- Duce, R. A., LaRoche, J., Altier, K., Arrigo, K. R., Baker, A. R., Capone, D. G., Cornell, S., Dentener, F.,

- Galloway, J., Ganeshram, R. S., Geider, R. J., Jickells, T., Kuypers, M. M., Langlois, R., Liss, P. S., Liu, S. M., Middelburg, J. J., Moore, C. M., Nickovic, S., Oschlies, A., Pedersen, T., Prospero, J., Schlitzer, R., Seitzinger, S., Sorensen, L. L., Uematsu, M., Ulloa, O., Voss, M., Ward B. & Zamora, L. (2008). Impacts of atmospheric anthropogenic nitrogen on the open ocean. *Science*, 320: 893–897. <https://doi.org/10.1126/science.1150369>
- Ermert, A. (2003). Turkey goes to court to protect Gediz Delta. http://www.panda.org/about_wwf/what_we_do/freshwater/news/news.cfm?uNewsID=5322 9.Jan.2003
- Essoni, N. (1998). Etude de la dynamique des sels nutritifs et des métaux lourds en Relation avec la sédimentologie et l'hydrodynamique dans le large du golfe de Tunis. Ph.D. Thesis. Université De Tunis II, Tunus.
- Fagherazzi, S., Palermo, C., Rulli, M. C., Carniello, L. & Defina, A. (2007). Wind waves in shallow microtidal basins and the dynamic equilibrium of tidal flats. *Journal of Geophysical Research*, 112: 1-12. doi:10.1029/2006JF000572
- Fagherazzi, S., Wiberg, P. L., Temmerman, S., Struyf, E., Zhao, Y. & Raymond, P. A. (2013). Fluxes of water, sediments, and biogeochemical compounds in salt marshes. *Ecological Processes*, 2(3): 1-16. doi:10.1186/2192-1709-2-3.
- Fox, A. L. & Trefry, J. H. (2018). Environmental dredging to remove fine-grained, organic-rich sediments and reduce inputs of nitrogen and phosphorus to a subtropical estuary. *Marine Technology Society Journal*, 52: 42–57. doi: 10.4031/mts.j.52.4.3.
- Fox, A. L. & Trefry, J. H. (2023). Nutrient fluxes from recent deposits of fine-grained, organic-rich sediments in Florida estuary. *Frontiers in Marine Science*, 10: 1-21. <https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1305990>
- Ganju, N. K., Schoellhamer, D. H. & Bergamaschi, B. A. (2005). Suspended sediment fluxes in a tidal wetland: measurement, controlling factors, and error analysis. *Estuaries*, 28: 812–822. doi:10.1007/BF02696011
- Ganju, N. K., Nidzieko, N. J. & Kirwan M. L. (2013). Inferring tidal wetland stability from channel sediment fluxes: Observations and a conceptual model. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 118: 2045–2058. <https://doi.org/10.1002/jgrf.20143>
- Grenz, C., Denis, L., Pringault, O. & Fichez, R. (2010). Spatial and seasonal variability of sediment oxygen consumption and nutrient fluxes at the sediment water interface in a sub-tropical lagoon (New Caledonia). *Marine Pollution Bulletin*, 61: 399–412. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2010.06.014>
- Harris, L. A., Hodgkins, C. L. S., Day, M. C., Austin, D., Testa, J. M., Boynton, W., Van Der Tak, L. & Chen, N. W. (2015). Optimizing recovery of eutrophic estuaries: Impact of destratification and re-aeration on nutrient and dissolved oxygen dynamics. *Ecological Engineering*, 75: 470–483. doi: 10.1016/j.ecoleng.2014.028
- Hyacinthe, C., Anschutz, P., Carbonel, P., Jauanneau, J. M. & Jorissen, F. J. (2001). Early diagenetic processes in the muddy sediments of the bay of Biscay. *Marine Geology*, 177:111-128. [https://doi.org/10.1016/S0025-3227\(01\)00127-X](https://doi.org/10.1016/S0025-3227(01)00127-X)
- Ingall, E. & Jahnke, R. (1997). Influence of water-column anoxia on the elemental fractionation of carbon and phosphorus during sediment diagenesis. *Marine Geology*. 139 (1–4): 219–229. [https://doi.org/10.1016/S0025-3227\(96\)00112-0](https://doi.org/10.1016/S0025-3227(96)00112-0).
- Jin, H. Y., Chen, J. F., Weng, H. X., Li, H. L., Zhang, W. Y., Xu, J., Bai, Y. C. & Wang, K. (2009). Variations of paleoproductivity in the past decades and the environmental implications in the Changjiang Estuary in China. *Acta Oceanologica Sinica*, 31 (2): 113–119 (in Chinese with English abstract). DOI10.1007/s13131-010-0035-x
- Jäntti, H. & Hietanen, S. (2012). The effects of hypoxia on sediment nitrogen cycling in the Baltic Sea. *Ambio*, 41 (2): 161–169. <https://doi.org/10.1007/s13280-011-0233-6>.
- Jørgensen, K. S. (1989). Annual pattern of denitrification and nitrate ammonification in estuarine sediment. *Applied and Environmental Microbiology*, 55:1841–1847. <https://doi.org/10.1128/aem.55.7.1841-1847.1989>
- Kendzierska, H., Lukawska-Matuszewska, K., Burska, D. & Janas, U. (2020). Benthic fluxes of oxygen and nutrients under the influence of macrobenthic fauna on the periphery of the intermittently hypoxic zone in the Baltic Sea. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 530–531. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2020.151439>
- Kim, S., Choi, A., Yang, E., Lee, S., & Hyun, J. (2016). Low benthic respiration and nutrient flux at the highly productive Amundsen Sea Polynya, Antarctica. *Deep Sea Research, Part II* 123: 92–101. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2015.10.004>
- Kim, S.H., Lee, J.S., Kim, K.T., Kim, S.L., Yu, O.H., Lim, D & Kim, S.H. (2020). Low benthic mineralization and nutrient flux in the continental shelf sediments of the northern East China Sea. *Journal of Sea Research*, 164, 101934. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2020.101934>
- Kristensen, E. & Kostka, J.E. (2005). Macrofaunal burrows and irrigation in marine sediment:

- Microbiological and biogeochemical interactions. In: Kristensen, E., Haese, R.R. & Kostka, J.E. (Eds.), *Interaction between Macro- and Microorganisms in Marine Sediments*. American Geophysical Union, Washington, DC, pp. 125–157. <https://doi.org/10.1029/CE060p0125>
- Lin, C., Ning, X., Su, J., Lin, Y. & Xu, B. (2005). Environmental changes and the responses of the ecosystems of the Yellow Sea during 1976–2000. *Journal of Marine Systems*, 55: 223–234. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2004.08.001>
- Lorenzen, C. J. (1971). Chlorophyll-Degradation products in sediments of Black Sea. WoodsHole Oceanographic Institution Contribution No.2828, p.426–428.
- Lourey, M.J., Alongi, D.M., Ryan, D.A.J. & Devlin, M.J. (2001). Variability of nutrient regeneration rates and nutrient concentrations in surface sediments of the northern Great Barrier Reef shelf. *Continental Shelf Research*, 21, 145–155. [https://doi.org/10.1016/S0278-4343\(00\)00084-4](https://doi.org/10.1016/S0278-4343(00)00084-4)
- Ma, S., Yu, Q., Chen, G., Su, H., Tang, W., Sun, Y., Zhou, Z., Jiang, L., Zhu, J., Chen, L., Zhu, B. & Fan, J. (2022a). Above ground net primary productivity mediates the responses of soil respiration to nutrient additions in two tropical montane rainforests. *Agricultural and Forest Meteorology*, 327, 109200 <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2022.109200>
- Ma, S., Chen, X., Su, H., Xing, A., Chen, G., Zhu, J., Zhu, B. & Fang, J. (2022b). Phosphorus addition decreases soil fungal richness and alters fungal guilds in two tropical forests. *Soil Biology and Biochemistry*, 175, 108836 <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2022.108836>.
- Martin, D. F. (1972). *Marine chemistry, vol. 1 Analytical methods* (p. 389). NY: Marcel Dekker Inc.
- Mna, H. B., Alsubih, M., Oueslati, W., Helali, M. A., Amri, S., Added, A. & Aleya, L. (2022). Diagenetic processes and nutrients diffusive fluxes at the sediment-water interface in the Bizerte Lagoon (North Tunisia). *Journal of African Earth Science*, 196(3):1-15. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2022.104671>
- Minareci, O., Öztürk, M., Egemen, Ö. & Minareci, E. (2009). Detergent and Phosphate Pollution in Gediz River, Turkey. *African Journal of Biotechnology*, 8: 3568-3575. DOI: 10.5897/AJB09.167
- Moraes, P. C., Sutti, B. O., Chiozzini, V. G. & Braga, E. S. (2023). Benthic aerobic respiration and nutrient fluxes in Cananéia-Iguape Estuarine-Lagoon complex along a salinity gradient. *Ocean and Coastal Research*, 71(1): 1-20. <https://doi.org/10.1590/2675-2824071.22135pcm>
- Murray, L. G., Mudge, S. M., Newton, A. & Icely, J. D. (2006). The effect of benthic sediments on dissolved nutrient concentrations and fluxes. *Biogeochemistry*, 81:159–178. DOI 10.1007/s10533-006-9034-6
- Ozkan, E. Y., Kocatas, A. & Buyukisik, B. (2008). Nutrient dynamics between sediment and overlying water in the inner part of Izmir Bay, Eastern Aegean. *Environmental Monitoring and Assessment*, 143:313–325. DOI 10.1007/s10661-007-9984-8
- Parlak, H., Çakır A., Boyacıoğlu, M. & Çakal Arslan, Ö. (2006). Heavy Metal Deposition in Sediments from the Delta of the Gediz River (Western Turkey): A Preliminary Study. *E.U. Journal of Fisheries & Aquatic Sciences*, 23 (3-4): 445–448.
- Rigaud, S., Radakovitch, O., Couture, R. M., Bruno Deflandre, B., Cossa, D., Garniere, C. & Garnier, J. M. (2013). Mobility and fluxes of trace elements and nutrients at the sediment–water interface of a lagoon under contrasting water column oxygenation conditions. *Applied Geochemistry*, 31: 35–51. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2012.12.003>
- Sıkı, M. (2002). The Birds of Gediz Delta (Izmir Bird Paradise). *Ekoloji*, 11: 11-16.
- Sisman Aydın, G. & Simsek, K. (2015). Homa Dalyanı (Izmir) Derinleştirme Çalışmalarının Nutrient Değişimleri Üzerine Etkilerinin İzlenmesi. 18. Ulusal Su Ürünleri Sempozyumu, İzmir.
- Somay, A. M., & Filiz, S. (2003). Hidrology, hydrogeology and hydrochemistry of wetlands: a case study in Izmir Bird Paradise, Turkey. *Environmental Geology*, 43: 825–835. DOI 10.1007/s00254-002-0697-6
- Strickland, J. D. H., & Parsons, T. R. (1972). *A practical handbook of seawater analysis*, Bull. No. 167 (p. 310). Ottawa: Fisheries Research Board of Canada.
- Timmermann, K., Banta, S.T. & Glud, R.N. (2006). Linking Arenicola marina irrigation behavior to oxygen transport and dynamics in sandy sediments. *Journal of Marine Research*, 64, 915–938. DOI: 10.1357/002224006779698378
- Tosunoglu, Z., Ünal, V., Kaykaç, M. H., Mermer, A. & Onem, R. (2015). Ege Dalyanlarının Güncel Durumu. Ege Üniversitesi Bilimsel Arastırma Projesi. No. SUF/006. İzmir, 332p.
- Uluturhan, E., Kontas, A. & Can, E. (2011). Sediment concentrations of heavy metals in the Homa Lagoon (Eastern Aegean Sea): Assessment of contamination and ecological risks. *Marine Pollution Bulletin*, 1989-1997. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.06.019>
- Zhang, L., Wang, L., Yin, K., Lü, Y., Yang, Y. & Huang, X. (2013). Spatial and seasonal variations of nutrients in sediment profiles and their sediment-water fluxes in the Pearl River Estuary, Southern China. *Journal Earth Science*, 25: 197–206 <https://doi.org/10.1007/s12583-014-0413-y>

Variation of Ge Concentration in Some Coniferous Species Over Long Years

Nurcan Yiğit^{1*} 

Abstract: Increasing natural events and human activities in the last century led to the release of an excessive amount of inorganic and organic pollutants into the environment and natural ecosystems. One of the most important pollutants disrupting the balance between living organisms in the ecosystem is metals. Heavy metals, in particular, are transported to the top levels of the food chain and cause harm to the living organisms. Therefore, among the pollutants, heavy metals have a specific ecological importance. Heavy metals are carcinogenic and, due to their bioaccumulative, non-degradable, and refractory characteristics, they pose serious health risks to living systems and the environment. *Pinus pinaster* (Pp), *Cupressus arizonica* (Cpa), *Picea orientalis* (Po), *Cedrus atlantica* (Cda) and *Pseudotsuga menziesii* (Pm) species were examined in the present study. Changes in Ge concentrations in these species by directions and organs in the periods 1988-1992 and 2013-2017 were determined. As a result of the study, the lowest Ge concentration was found in the west in the Pb (872.8) and the highest one in the north in the Cpa (6367.5). The present study revealed that Ge accumulation in the plant species analyzed here is at a considerably high level. These results suggest that Ge pollution in the air is very high.

Keywords: Germanium, *Cedrus atlantica*, *Pinus pinaster*, Heavy Metals

Bazı İğne Yapraklı Türlerde Uzun Yıllar Boyunca Ge Konsantrasyonunun Değişimi

Özet: Son yüzyılda artan doğa olayları ve insan faaliyetleri, aşırı miktarda inorganik ve organik kirleticinin çevreye ve doğal ekosistemlere salınmasına neden olmuştur. Ekosistemde canlı organizmalar arasındaki dengeyi bozan en önemli kirleticilerden biri metallerdir. Özellikle ağır metaller besin zincirinin en üst basamaklarına taşınarak canlı organizmalara zarar vermektedir. Bu nedenle kirleticiler arasında ağır metallerin özel bir ekolojik önemi vardır. Ağır metaller kanserojendir ve biyoakümülatif, parçalanmayan ve dirençli özellikleri nedeniyle canlı sistemleri ve çevre için ciddi sağlık riskleri oluştururlar. Bu çalışmada *Pinus pinaster* (Pp), *Cupressus arizonica* (Cpa), *Picea orientalis* (Po), *Cedrus atlantica* (Cda) ve *Pseudotsuga menziesii* (Pm) türleri incelenmiştir. Bu türlerdeki Ge konsantrasyonlarının 1988-1992 ve 2013-2017 dönemlerinde yönleri ve organlara göre değişimleri belirlenmiştir. Çalışma sonucunda en düşük Ge konsantrasyonu batıda Pb'de (872,8) ve en yüksek Ge konsantrasyonu kuzeyde Cpa'da (6367,5) bulunmuştur. Mevcut çalışma burada analiz edilen bitki türlerinde Ge birikiminin oldukça yüksek seviyede olduğunu ortaya koymuştur. Bu sonuçlar havadaki Ge kirliliğinin çok yüksek olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Germanyum, *Cedrus atlantica*, *Pinus pinaster*, Ağır Metaller

Article Info (Research)

¹ Kastamonu University, Faculty of Forestry, Forestry Engineering Department, Kuzeykent, Kastamonu, Türkiye

*Corresponding author:
nyigit@kastamonu.edu.tr

Citation: Yiğit, N. (2025), Variation of Ge Concentration in Some Coniferous Species over Long Years, Memba Water Sciences Journal, 11, (1), 24-33,
<https://doi.org/10.58626/memba.1667327>

Submission Date: 11 January 2025
Acceptance Date: 14 January 2025
Publishing Date: 28 March 2025

1. Introduction

In the last century, environmental pollution caused by anthropogenic factors such as industrial activities, transportation, and mining operations became a global problem influencing all ecosystems (Isinkaralar et al., 2024; Bayraktar et al., 2024). Air pollution, in particular, became a problem that threatens people's health, comfort, peace, and happiness and causes approximately 7 million deaths and 4 million premature births worldwide annually (Isinkaralar et al., 2022; Key et al., 2022). It is estimated that approximately 99% of people live in polluted areas nowadays (WHO, 2024). Furthermore, it is also stated that air pollution is a major cause of global climate change (Çobanoğlu et al., 2023; Arıcak et al., 2024; Erturk et al., 2024).

Heavy metals are considered the most threatening air pollution components from the aspect of human health since many of them can be toxic, carcinogenic, and lethal to humans even at low concentrations. Moreover, heavy metals can persist in the environment for a long time with no degradation and heavy metal concentrations in nature are in constant increase (Isinkaralar et al., 2023; Şevik et al., 2024; Gültekin et al., 2025). Due to their importance for human health, numerous studies were carried out on different heavy metals including Pb, Zn, Cr, Cu, Cd, and Al (Istanbullu et al., 2023; Ozturk Pulatoglu et al., 2025; Koç et al., 2025). Recently, because of the importance of the subject, heavy metals such as As (Yasar Ismail et al., 2024), Pd (Sevik et al., 2024), Sb (Canturk et al., 2024), Se (Şevik et al., 2024) and Bi (Isinkaralar et al., 2023), which have not been extensively studied before, became the research subjects.

One of the elements that did not receive much attention in previous studies is Germanium (Ge). With an atomic weight of 72.59, an atomic number of 32, and a density of 5.32 (25°C) in its basic form, Ge is a metalloid, which has both metallic and non-metallic characteristics and is gray-white and brittle (Nordberg et al., 2005). Exposure to excessive amounts or prolonged exposure to Ge was reported to have toxicological effects on and damage to the kidneys, nervous system, and lungs. Acute Ge poisoning can cause depression, hypothermia, cyanosis of the skin, edema, and changes in the parenchymal cells of the liver, kidneys, or other organs (Li et al., 2017). Excessive exposure to Ge typically results in nephropathy, neuropathy, and hepatotoxicity, and can cause respiratory failure at lethal doses (Keith and Maples-Reynolds, 2022). Ge toxicity was also reported to cause weight loss, fatigue, gastrointestinal disorders (nausea, vomiting, and anorexia), anemia, muscle weakness, and renal failure, affecting skeletal and cardiac muscles, peripheral and central nervous systems, bone marrow, and the liver. Myopathy, neuropathy (severe axonal degeneration, sensory disturbance, and cerebellar ataxia), and vomiting were reported (Tao and Bolger, 1997). Therefore, monitoring the changes in Ge concentrations in the air and reducing their concentrations are particularly important because heavy metals pose even greater health risks when they are inhaled (Ghoma et al., 2023).

2. Materials and Methods

The materials used in the present study were obtained from the city center of Düzce province. Düzce province is located in the Western Black Sea region of Türkiye and, according to the 2021 World Air Pollution Report, it is one of the top 5 cities having the dirtiest air in Europe (Koc et al., 2024). Within the scope of this study, the log samples having approx. 10 cm thickness were taken at 50 cm height from the main stems of *Pinus pinaster* (Pp), *Cupressus arizonica* (Cpa), *Picea orientalis* (Po), *Cedrus atlantica* (Cda) and *Pseudotsuga menziesii* (Pm) species at the end of 2022 by labeling the north. The log samples were grouped into five-year intervals considering the annual ring widths and the specimens were taken from the outer bark, inner bark, and wood in each age range by using a steel drill. The present study was carried out in triplicate. The samples taken in the form of shavings were then placed in glass Petri dishes and left to dry for 15 days to have them air-dried. Then, they were dried at 45°C in a drying oven. 0.5 g of the samples were taken and added with 6 ml of 65% HNO₃ and 2 ml of 30% H₂O₂. Then, they were placed in a microwave oven designed for these analyses. The solutions that became liquid were transferred to volumetric flasks and filled up to 50 ml by using ultra-pure water. The samples prepared were then analyzed by making use of an ICP-OES device and the results obtained were multiplied by the dilution factor to calculate the Ge concentrations. The method used in this study has been frequently used in recent studies carried out on this subject (Erdem et al., 2023a,b; Cobanoglu et al., 2023).

The data obtained were analyzed using the SPSS package program and the Duncan test was conducted for factors with significant differences with a minimum of 95% confidence level ($P < 0.05$) in the Variance analysis. The data obtained were interpreted by simplifying and tabularizing. Thus, the changes in Ge concentration by species, direction, organ, and year range were separately determined and evaluated.

3. Results

The changes in Ge concentration by species and direction and the statistical analysis results are given in Table 1.

Table 1. Variation of Ge concentration on the basis of species and direction

Species	North	East	South	East	Mean
Pp	4851,4 ab	4385,1	3809,1	872,8 a	3937,8
Cpa	6367,5 c	4075,0	3528,1	4683,8 bc	4697,0
Po	4473,2 a	6131,2	3233,8	1544,5 a	4127,5
Cda	5686,7 bc	3424,0	3531,8	5240,9 c	4359,3
Pm	4441,0 a	3763,5	3199,3	3689,8 b	3791,8
F	5,0**	2,0 ns	0,4 ns	15,3***	1,7 ns

*Significant at 0.05 level; **significant at 0.01 level; ***significant at 0.001 level ns not significant

Given the results of the variance analysis, the changes in Ge concentration by species were not statistically significant in directions other than north and west. The highest value in the north was found in the Cpa and the lowest one in the Po and Pm. In the west, the lowest value was found in Pp and Po and the highest value in Cda. It is remarkable that, considering the Duncan test results, the values found in Cpa and Cda were in the last group in both directions. The change in Ge concentration by species and organ is given in Table 2.

Table 2. Variation of Ge concentration on the basis of species and organs

Species	DK	IK	Wood	Mean
Pp	3991,2 a	4039,8	3909,6	3909,6
Cpa	6849,7 b	7043,5	4157,1	4157,1
Po	4791,8 ab	4840,8	3907,3	3907,3
Cda	3825,2 a	5703,9	4229,6	4229,6
Pm	6764,9 b	5222,3	3192,3	3192,3
F	3,7*	1,5	2,1	2,1

*Significant at 0.05 level; **significant at 0.01 level; ***significant at 0.001 level ns not significant

As seen in table, it was revealed that the changes in Ge concentration by species were not statistically significant in all organs except for the outer bark. The highest value in the outer bark is observed in the Cpa and Pm species, while the lowest value is obtained in the Pp and Cda species. The change in Ge concentration by period and direction is given in Table 3.

Table 3. Change of Ge concentration by period and direction

Year	North	East	South	West	F	Mean
2018-2022	5359,2 B	2336,6 A	2369,7 Aab	2453,3 Aab	14,2***	3524,7
2013-2017	4051,8	3845,7	3775,3 bcd	2217,9 ab	1,1 ns	3778,1
2008-2012	4092,4 B	4041,9 B	3348,0 Babcd	1554,7 Aa	5,5**	3573,3
2003-2007	4008,0 B	3208,2 AB	2883,5 ABabcd	2160,6 Aab	3,1*	3224,7
1998-2002	4547,3	7169,5	2674,5 abc	2747,5 ab	2,4 ns	4556,0
1993-1997	4781,0 B	3940,6 B	4257,7 Bd	1491,5 Aa	8,2***	3978,8
1988-1992	4678,8	3738,1	4095,9 cd	5790,2 c	1,9 ns	4420,7
1983-1987	5071,7 C	3840,1 B	2273,7 Aa	3822,8 Bb	12,7***	3830,6
F	1,9 ns	2,0 ns	2,7*	5,1***		1,6 ns

Uppercase letters show horizontal direction, whereas lowercase letters indicate vertical directions

*Significant at 0.05 level, **significant at 0.01 level, ***significant at 0.001 level ns not significant

Considering the results presented in table, it was found that the changes in Ge concentration by direction were statistically significant in all periods except for 1988-1992, 1998-2002, and 2013-2017. The change in Ge concentration by period was not statistically significant in directions except for the south and west. The highest value in the south was obtained in the period 1993-1997 and the lowest one in the period 1983-1987. The highest value in the west is determined in the period of 1988-1992. The change in Ge concentration by organ and direction is given in Table 4.

Table 4. Change of Ge concentration by organ and direction

Organ	North	East	South	West	F	Mean
DK	7841,8 Bb	6308,1 B	4255,6 Aa	2767,7 Aa	19,0***	5180,5 b
IK	7207,8 Bb	4132,4 A	4243,0 Aa	5096,9 ABb	3,6*	5285,3 b
OD	4573,8 Ba	4143,0 B	3209,1 Aa	2817,3 Aa	9,2***	3666,4 a
F	32,6***	1,5 ns	3,6*	7,3**		11,7***
Mean	5164,0 C	4308,8 B	3451,0 A	3263,3 A	14,5***	

Uppercase letters show horizontal direction, whereas lowercase letters indicate vertical directions

*Significant at 0.05 level, **significant at 0.01 level, ***significant at 0.001 level ns not significant

As seen in Table, the changes in Ge concentration by direction were statistically significant in all organs and the changes by organ were statistically significant in all directions except for the east. The highest value in the north was observed in the outer and inner barks, whereas the lowest one was found in the wood. The lowest value in the west was found in the outer bark and wood and the highest one in the inner bark. It was determined that the highest mean value was in the north and the lowest one in the south and west. The change in Ge concentration by organ and direction in Pp is given in Table 5.

Table 5. Change of Ge concentration in Pp by organ and direction

Organ	North	East	South	West	F Value	Mean
DK	7024,6 Bb	6614,4 Bb	1191,2 Aa	1134,6 Ab	135,3***	3991,2
IK	5035,6 Bab	4853,3 Ba	5142,5 Bb	1127,6 Ab	254,0***	4039,8
OD	4556,8 Ba	3999,7 Ba	4066,0 Bb	614,4 Aa	17,3***	3909,6
F Değeri	3,9*	12,1***	13,4***	72,4***		0,0 ns
Mean	4851,4 C	4385,1 BC	3809,1 B	872,8 A	26,5***	

Uppercase letters show horizontal direction, whereas lowercase letters indicate vertical directions

*Significant at 0.05 level, **significant at 0.01 level, ***significant at 0.001 level ns not significant

As indicated by the variance analysis results, the change in Ge concentration by direction in Pp was statistically significant in all organs and the changes by organ were statistically significant in all directions. The highest value in the outer bark was observed in the north and east and the lowest one in the south and west. The lowest values in the inner bark and wood were obtained in the west, whereas the highest value was observed in the north, south, and east. Examining the mean values, the highest mean value was obtained in the north and the lowest one in the west. The changes in Ge concentration by period and direction in Pp are given in Table 6.

Table 6. Variation of Ge concentration in Pp in woods by period and direction

Year	North	East	South	West	F Value	Mean
2018-2022	5335,9 Bbc	2366,0 Aa	LA	LA	94,0**	3850,9
2013-2017	1971,2 Aa	4936,4 Bd	LA	LA	891,4***	3453,8
2008-2012	2398,0 Aa	4931,0 Cd	3817,7 Bb	LA	38,6***	3715,5
2003-2007	4468,0 Bb	4692,1 Bd	4696,4 Bbc	545,6 A	47,4***	3600,5
1998-2002	5456,4 Cbc	3260,1 Ab	4508,5 Bbc	LA	9,2*	4408,3
1993-1997	5554,2 Cc	3962,0 Bc	5050,4 Bc	683,2 A	40,8***	3812,5
1988-1992	6032,9 Bc	LA	2257,1 Aa	LA	241,3***	4145,0
1983-1987	5237,8 bc	3850,4 bc	LA	LA	18,2*	4544,1

F Değeri	23,5***	19,3***	12,6**	327,9***	0,4 ns
Mean	4556,8 B	3999,7 B	4066,0 B	614,4 A	17,3***

Uppercase letters show horizontal direction, whereas lowercase letters indicate vertical directions

*Significant at 0.05 level, **significant at 0.01 level, ***significant at 0.001 level ns not significant

Given the results presented in table, it was found that the changes in Ge concentration in all trees were statistically significant in terms of direction and the changes by period were statistically significant in all periods. The lowest value was obtained in the periods 2008-2012 and 2013-2017 for the north, in the period after 2018 for the east, and in the period 1988-1992 for the south. The lowest mean value was observed in the west, whereas the highest one was found in the north, south, and east. Moreover, the changes in Ge concentration were found to be lower than the detectable limits in the period of 1988-1992 for the east, in the periods 1983-1987, 2013-2017, and 2018-2022 for the south, and in all periods other than 1993-1997 and 2003-2007 for the west. The changes in Ge concentration by organ and direction in Cpa are shown in Table 7.

Table 7. Change of Ge concentration in Cpa by organ and direction

Organ	North	East	South	West	F Value	Mean
DK	8339,0 Cb	LA	7136,7 Bb	5073,3 Ab	32,7**	6849,7 b
IK	9376,1 Bc	LA	3408,5 Aa	8346,1 Bc	114,0***	7043,5 b
OD	5745,0 Ca	4075,0 B	3092,0 Ba	632,0 Aa	34,7***	4157,1 a
F Value	126,6***		14,0***	297,8***		17,4***
Mean	6367,5 B	4075,0 A	3528,1 A	4683,8 A	14,7***	

Uppercase letters show horizontal direction, whereas lowercase letters indicate vertical directions

*Significant at 0.05 level, **significant at 0.01 level, ***significant at 0.001 level ns not significant

As seen in table, the changes in Ge concentration in Cpa by direction were statistically significant in all organs and the changes by organ were statistically significant in all directions. For the north and west, the lowest concentration was found in the wood, followed by outer bark and inner bark, respectively. The highest concentration in the south was observed in the outer bark and the lowest ones in the inner bark and wood. Examining the mean values, the highest mean value was found in the north and the lowest ones in the east, south, and west. In the east, the change in Ge concentration was found to be lower than the detectable limits in the outer and inner barks. The changes in Ge concentration by period and direction in Cpa are presented in Table 8.

Table 8. Change of Ge concentration in Cpa in woods by period and direction

Year	North	East	South	West	F Value	Mean
2018-2022	6126,4 Cc	1947,8 Ba	993,4 Aa	LA	146,6***	3022,5 a
2013-2017	5540,4 Bab	4058,6 Acd	4264,5 Ae	LA	75,8***	4621,2 abc
2008-2012	5770,1 Aabc	5705,5 Ae	5262,2 Af	LA	3,7 ns	5579,2 c
2003-2007	5253,8 Ba	2847,4 Aab	2648,1 Acd	LA	11,6*	3583,1 ab
1998-2002	6061,8 Dbc	5069,2 Cde	2382,2 Bbc	632,0 A	585,4***	3536,3 ab
1993-1997	5663,5 Cabc	4829,9 Bde	4326,7 Ae	LA	25,6**	4940,0 bc
1988-1992	5562,2 Cabc	4967,0 Bde	2141,2 Ab	LA	920,9***	4223,5 abc
1983-1987	5981,8 Bbc	3175,0 Abc	2717,7 Ad	LA	45,7***	3958,1 ab
F Value	3,1*	17,0***	241,3***			2,6*
Mean	5745,0 C	4075,0 B	3092,0 B	632,0 A	34,7***	

Uppercase letters show horizontal direction, whereas lowercase letters indicate vertical directions

*Significant at 0.05 level, **significant at 0.01 level, ***significant at 0.001 level ns not significant

As shown in table, the changes in Ge concentration in Cpa by direction were statistically significant in all periods, except for the period 2008-2012, and so were the changes by periods in all directions. The highest value in the north was observed after the year 2018 and the highest values in the east and south were observed in the period 2008-2012. Besides that, the highest mean value was observed in the period 2008-2012 and the lowest

one was observed after the year 2018. In addition, the lowest mean value by direction was obtained in the west and the highest one in the north. The changes in Ge concentration were lower than the detectable limits in all periods, except for the period 1998-2002 in the west. The changes in Ge concentration by organ and direction in Po are given in Table 9.

Table 9. Change of Ge concentration in Po by organ and direction

ORGAN	North	East	South	West	F Value	Mean
DK	8464,4 Cb	LA	3517,5 Ba	2393,6 Ab	616,9***	4791,8 a
IK	7003,8 Bb	3031,8 A	6714,1 Bb	2613,6 Ac	99,9***	4840,8 a
OD	3658,0 ABa	6647,7 B	2606,4 Aa	585,4 Aa	4,1*	3907,3 a
F Value	26,8***	0,5 ns	12,8***	710,5***		0,3 ns
Mean	4473,2 BC	6131,2 C	3233,8 AB	1544,5 A	3,8*	

Uppercase letters show horizontal direction, whereas lowercase letters indicate vertical directions

*Significant at 0.05 level, **significant at 0.01 level, ***significant at 0.001 level ns not significant

Given the variance analysis results presented in table, the changes in Ge concentration in Po by direction were found to be statistically significant in all organs and the changes by organ were statistically significant in all directions, except for the east. The highest value in the north was found in the outer and inner barks and the highest one in the south was obtained in the inner bark. In the west, the lowest concentration was found in the wood, followed by outer bark and inner bark, respectively. Considering the mean values, the lowest mean value was found in the west and the highest one in the east. Moreover, the change in Ge concentration was below the detectable limits in the outer bark in the east. The changes in Ge concentration by period and direction in Po are presented in Table 10.

Table 10. Variation of Ge concentration in woods in Po by period and direction

Year	North	East	South	West	F Value	Mean
2018-2022	5339,8 Bc	LA	5306,2 Be	571,0 A	145,0***	3739,0 ab
2013-2017	2320,7 a	LA	2251,9 b	LA	1,6 ns	2286,3 a
2008-2012	2737,3 Ba	4884,8 Ca	2550,6 Bcd	599,9 A	377,9***	2693,1 ab
2003-2007	2483,9 Aa	3844,0 Ba	2381,7 Abc	LA	254,0***	2903,2 ab
1998-2002	4285,8 Ab	16742,8 Aa	2588,6 Ad	LA	1,5 ns	7872,4 b
1993-1997	4871,5 bc	4926,7 a	LA	LA	0,0 ns	4899,1 ab
1988-1992	2178,9 a	6423,6 a	LA	LA	21199,0***	4301,3 ab
1983-1987	5046,0 Cc	3064,7 Ba	559,8 Aa	LA	79,6***	2890,1 ab
F Value	35,2***	1,3 ns	748,0***	0,2 ns		1,3 ns
Mean	3658,0 AB	6647,7 B	2606,4 A	585,4 A	4,1*	

Uppercase letters show horizontal direction, whereas lowercase letters indicate vertical directions

*Significant at 0.05 level, **significant at 0.01 level, ***significant at 0.001 level ns not significant

Given the results presented in table, it was determined that the changes in Ge concentration in Po woods by direction were statistically significant in all periods except for 1993-1997, 1998-2002, and 2013-2017. On the other hand, the changes by period were found to not be statistically significant in directions other than the north and south. The highest value in the north was found in the periods 1983-1987, 1993-1997, and after 2018, whereas the lowest value in the east was determined in the period 1983-1987. The lowest mean value was found in the south and west and the highest mean value in the east. In addition, the changes in Ge concentration were below the detectable limits in the periods 2013-2017 and 2018-2022 for the east, in the periods 1988-1992 and 1993-1997 for the south, and in all periods except for the periods 2008-2012 and 2018-2022 for the west. The changes in Ge concentration in Cda by organ and direction are shown in Table 11.

Table 11. Change of Ge concentration in Cda by organ and direction

Organ	North	East	South	West	F Value	Mean
DK	6888,2 Cb	4255,4 Ba	1786,4 Aa	2370,8 Aa	68,5***	3825,2 a
IK	7681,0 Cc	4512,2 Ba	3252,9 Aa	7369,5 Cc	326,0***	5703,9 b
OD	5287,2 Ba	3184,1 Aa	3821,0 Aa	5611,6 Bb	11,5***	4229,6 a
F Value	37,6***	1,8 ns	1,6 ns	159,3***		4,2*
Mean	5686,7 B	3424,0 A	3531,8 A	5240,9 B	15,4***	

Given the results achieved, the changes in Ge concentration by direction were found to be statistically significant in all organs. On the other hand, the changes in Ge concentration by organ were not statistically significant in directions except for the north and west. The lowest concentration was found in wood, followed by outer bark and inner bark, respectively, for the north, whereas the lowest concentration was found in the outer bark, followed by wood and inner bark, respectively, for the west. The highest values in the inner bark and wood were seen in the north and west, whereas the one in the outer bark was obtained in the north. Considering the mean values, the highest mean value was observed in the north and west and the lowest ones in the east and south. The changes in Ge concentration by period and direction in Cda are presented in Table 12.

Table 12. Variation of Ge concentration in Cda in woods by period and direction

Year	North	East	South	West	F Value	Mean
2018-2022	5049,4 Cab	2696,0B e	809,4 Aa	LA	154,9***	2851,6 a
2013-2017	5111,0 Bab	2542,1 Ad	6362,0 Cd	LA	59,0***	4671,7 b
2008-2012	4641,2 a	2356,7 c	LA	LA	166,1**	3498,9 ab
2003-2007	6116,4 Bc	2210,6 Ab	2415,8 Ab	LA	105,5***	3580,9 ab
1998-2002	5172,5 Bab	6090,4 Cg	2124,8 Ab	LA	558,1***	4462,6 ab
1993-1997	5512,5 Bb	2043,9 Aa	5975,5 Bd	LA	85,0***	4510,6 ab
1988-1992	5442,3 Cb	2262,8 Abc	4721,8 Bc	6007,2 C	66,3***	4608,5 b
1983-1987	5252,7B b	5270,2B f	4337,5 Ac	5216,0 B	31,1***	5019,1 b
F value	6,3**	1372,7***	53,1***	87,5**		2,0 ns
Mean	5686,7 B	3424,0 A	3531,8 A	5240,9 B	15,4***	

As seen in table, the changes in Ge concentration in Cda woods by direction were statistically significant in all periods and the changes by period were statistically significant in all directions. The highest concentration in the north was obtained in the period 2003-2007, whereas the highest one in the east was obtained in the period 1998-2002 and the highest one in the south in the periods 1993-1997 and 2013-2017. Considering the mean concentrations, the highest mean value was found in the north and west, while the lowest one was seen in the east and south. In addition, the changes in Ge concentration were determined to be lower than the detectable limits in the period of 2008-2012 in the south and in all periods except for 1983-1987 and 1988-1992 in the west. The changes in Ge concentration by organ and direction in Pm are given in Table 13.

Table 13. Variation of Ge concentration in Pm by organ and direction

Organ	North	East	South	West	F Value	Mean
DK	8492,8 Bb	8054,5 B	7646,2 Bb	2866,3 Aa	7,2*	6764,9 b
IK	6942,4 ab	LA	2696,9 a	6027,6 b	0,4 ns	5222,3 b
OD	3621,9 Aa	2690,8 A	2635,8 Aa	3500,5 A	2,2 ns	3192,3 a
F value	4,6*	21,2***	10,2**	7,0**		14,9***
Mean						

Given the results of variance analysis in table, the changes in Ge concentration in Pm by direction and organ were statistically significant in all organs and all directions, respectively. The highest value in the north was obtained in the outer and inner barks, whereas the highest value in the south was observed in the outer bark. In

the outer bark, the highest values were seen in the north, south, and east, whereas the lowest one was found in the west. In the east, the changes in Ge concentration in the inner bark were below the detectable limits. The changes in Ge concentration in Pm by period and direction are given in Table 14.

Table 14. Variation of Ge concentration in woods in Pm by period and direction

Year	North	East	South	West	F Value	Mean
2018-2022	4944,4 cd	LA	LA	4335,7 d	4,0 ns	4640,0 c
2013-2017	5315,9 Bd	LA	2222,8 Ab	2217,9 Aa	118,3***	3252,2 ab
2008-2012	4915,6 Bcd	2331,7 Ab	1761,7 Aa	2509,6 Ab	18,1**	2879,6 a
2003-2007	1717,9 Aa	2447,1 Cb	2275,7 Bb	3775,5 Dc	391,1***	2554,0 a
1998-2002	1760,0 Aa	4685,2 Bc	1768,6 Aa	4863,0 Be	313,4***	3269,2 ab
1993-1997	2303,5 Ba	LA	1678,1 Aa	2299,8 Bab	12,8**	2093,8 a
1988-1992	4177,5 Bbc	1299,2 Aa	7263,7 Dc	5573,2 Cf	182,7***	4578,4 bc
1983-1987	3840,3 Cb	LA	1479,9 Aa	2429,6 Bab	66,1***	2583,3 a
F Value	36,4***	37,1***	233,4***	286,8***		4,0**
Mean	3621,9	2690,8	2635,8	3500,5	2,2 ns	

As seen in table, the changes in Ge concentration by period were statistically significant in all directions and so were the changes by direction in all levels other than the period 2018-2022. The highest value in the east was observed in the period 1998-2002, whereas the highest values in the south and west were found in the period 1988-1992. Besides that, the highest mean value was found after the year 2018. In addition, the changes in Ge concentration were below the detectable limits in the periods 1983-1987, 1993-1997, 2013-2017, and 2018-2022 for the east and in the period 2018-2022 for the south.

4. Discussion and Conclusion

As a result of the study, it was determined that Ge accumulates in all samples within detectable limits. This finding indicates that the species studied here have a high potential for accumulating Ge. One of the most important features sought in species that can be used in determining heavy metal pollution is their ability to accumulate heavy metals in their bodies (Key et al.,2023). Previous studies showed that each species has a different potential for accumulating heavy metals (Koç et al.,2024). The results achieved in the present study showed that the differences in the mean Ge concentration among species, especially in wood, were not statistically significant. Therefore, all of those species can be used for monitoring the changes in Ge concentration and reducing the Ge concentration.

At the end of the study, statistically significant differences were found between Ge concentrations in woods that formed in different directions during the same period. It can be stated that the transfer of Ge in the wood was limited. Similar results were also reported by different researchers. For instance, Zhang (2019) found that Zn and Pb concentrations in annual rings of *Cedrus deodora* changed to a certain extent, but Cu concentration did not change at all. Koc et al., (2024) reported that the transfer of the Cr element in *Pseudotsuga menziesii* was limited, but Sb, Ag, Se, Tl could be displaced in *Pinus nigra* (Şevik et al., 2024).

In the present study, the highest Ge concentrations were generally obtained in the north and east. Ankara-Istanbul highway, one of Turkey's busiest highways, passes through the northeast of the study area. Given these results, it can be stated that Ge concentrations increase significantly depending on traffic density. In previous studies on heavy metals, traffic density was specified as one of the most important heavy metal sources (Koç et al., 2025; Ozturk Pulatoglu et al., 2025).

In this study, the highest values were generally found in the outer bark. High heavy metal levels in the outer bark in polluted areas are related to the structure and contamination of the bark. Heavy metals in the air stick to particles, contaminate them, and settle on plant organs. Thereby, the concentration of heavy metals in these organs increases (Sulhan et al.,2022). Since the outer bark has a rough surface structure, particles can easily adhere to it and, as a result, heavy metal concentrations are high, especially in the bark on the side where the traffic is dense (Yayla et al.,2022). The results achieved in this study also support these findings and confirm that Ge concentrations in the air increase due to traffic.

Heavy metals are one of the most threatening pollutants for human and environmental health and, therefore, numerous studies were carried out on heavy metals in recent years (Cobanoglu et al.,2023; Kuzmina et al.,2023). However, those studies mainly focused on heavy metals such as Pb, Cr, Ni, Co, Cu, and Zn (Erdem et al., 2024). On the other hand, recent studies showed that other heavy metals that have been ignored to date can also be extremely dangerous for human and environmental health (Yasar Ismail et al., 2024).

One of the elements that have generally been neglected in previous studies is Germanium. Organic Ge is mainly found in industrial wastewater and soil contaminated with heavy metals. Organic Ge is one of the compounds of various coal-zinc-containing minerals and is the biggest human-made pollutant source in the environment, originating from coal combustion, oil refining, and different metal recycling processes. Organic Ge and its compounds are volatile at high temperatures, which results in a significant amount of organic Ge being released into the atmosphere. It can be seen that if land use for mining, agriculture, and human settlements is not properly planned, germanium compounds, including organic Ge, will cause significant harm to the environment and human health (Zheng et al.,2020). The results achieved in the present study show that Ge accumulation in the plants examined here can be quite high. These results can be considered as an indicator that Ge pollution in the air is at dangerous levels. Therefore, more and diversified studies on Ge are needed.

5. Acknowledgement

Author thanks to Dr. İsmail Koç.

6. Compliance with Ethical Standard

a) Author Contributions

1. Nurcan Yiğit.: Conceptualization, process, software, verification, formal analysis, research, materials, composing the first draft, composing the review, and editing.

b) Conflict of Interests

There is no conflict of interest, according to the authors.

c) Statement on the Welfare of Animals

Not relevant

d) Statement of Human Rights

There are no human subjects in this study.

e) Funding

This study was supported by Kastamonu University.

7. References

- Arıcak, B., Canturk, U., Koc, I., Erdem, R., Sevik, H. (2024). Shifts That May Appear in Climate Classifications in Bursa Due to Global Climate Change. *Forestist*, 74: 129-137. Doi:10.5152/forestist.2024.23074
- Bayraktar, O. Y., Özel, H. B., Benli, A., Yılmazoğlu, M. U., Türkel, İ., Dal, B. B., Şevik, H. & Kaplan, G. (2024). Sustainable foam concrete development: Enhancing durability and performance through pine cone powder and fly ash incorporation in alkali-activated geopolymers. *Construction and Building Materials*, 457, 139422.
- Canturk, U., Koç, İ., Ozel, H.B., Sevik, H. (2024). Identification of proper species that can be used to monitor and decrease airborne Sb pollution. *Environ Sci Pollut Res* (2024). <https://doi.org/10.1007/s11356-024-34939-7>
- Cobanoğlu, H., Sevik, H., & Koç, İ. (2023). Do Annual Rings Really Reveal Cd, Ni, and Zn Pollution in the Air Related to Traffic Density? An Example of the Cedar Tree. *Water, Air, & Soil Pollution*, 234(2), 65.
- Cobanoğlu, H., Canturk, U., Koc, I., Kulac, S., Sevik, H. (2023). Climate Change Effect on Potential Distribution of Anatolian Chestnut (*Castanea sativa* Mill.) in the Upcoming Century in Türkiye, *Forestist*, 73(3): 247-256
- Erdem, R., Çetin, M., Arıcak, B., & Sevik, H. (2023a). The change of the concentrations of boron and sodium in some forest soils depending on plant species. *Forestist*, 73(2), 207-212.
- Erdem, R., Arıcak, B., Cetin, M., & Sevik, H. (2023b). Change in some heavy metal concentrations in forest trees by species, organ, and soil depth. *Forestist*, 73(3), 257-263.
- Erdem, R., Koç, İ., Çobanoğlu, H., & Şevik, H. (2024). Variation of magnesium, one of the macronutrients, in some trees based on organs and species. *Forestist*, 74(1), 84-93.
- Erturk, N., Arıcak, B., Sevik, H., & Yigit, N. (2024). Possible Change in Distribution Areas of Abies in Kastamonu due to Global Climate Change. *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty*, 24 (1), 81-91.
- Ghoma, W. E. O., Sevik, H., & Isinkaralar, K. (2023). Comparison of the rate of certain trace metals accumulation in indoor plants for smoking and non-smoking areas. *Environmental science and pollution research*, 30(30), 75768-75776.
- Gültekin, Y., Kılıç Bayraktar, M., Sevik, H., Cetin, M., Bayraktar, T. (2025). Optimal Vegetable Selection in Urban and Rural Areas Using Artificial Bee Colony Algorithm: Heavy Metal Assessment and Health Risk, *Journal of Food Composition and Analysis*, DOI: 10.1016/j.jfca.2024.107169.
- Isinkaralar, K., Isinkaralar, O., Koç, İ., Özel, H. B., & Şevik, H. (2023). Assessing the possibility of airborne bismuth accumulation and spatial distribution in an urban area by tree bark: A case study in Düzce, Türkiye. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 1-12. DOI: 10.1007/s13399-023-04399-z

- Isinkaralar, K., Isinkaralar, O., Özel, H.B. & Sevik, H. (2024). A Comparative Study About Physical Properties of Copper Oxide and Zinc Oxide Nanoparticles on *Fagus orientalis* L. as Bioindicator. *Water Air Soil Pollut* 235, 738 (2024). <https://doi.org/10.1007/s11270-024-07551-1>
- Isinkaralar, K., Koc, I., Erdem, R., Sevik, H. (2022). Atmospheric Cd, Cr, and Zn Deposition in Several Landscape Plants in Mersin, Türkiye. *Water, Air, & Soil Pollution*, <https://doi.org/10.1007/s11270-022-05607-8>
- Istanbullu, S. N., Sevik, H., Isinkaralar, K., & Isinkaralar, O. (2023). Spatial Distribution of Heavy Metal Contamination in Road Dust Samples from an Urban Environment in Samsun, Türkiye. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 110(4), 78.
- Keith, L. S., & Maples-Reynolds, N. (2022). Germanium. In *Handbook on the Toxicology of Metals* (pp. 289-316). Academic Press.
- Key, K., Kulaç, Ş., Koç, İ., & Sevik, H. (2023). Proof of concept to characterize historical heavy-metal concentrations in atmosphere in North Turkey: determining the variations of Ni, Co, and Mn concentrations in 180-year-old *Corylus colurna* L.(Turkish hazelnut) annual rings. *Acta Physiologiae Plantarum*, 45(10), 120.
- Key, K., Kulaç, Ş., Koç, İ., & Sevik, H. (2022). Determining the 180-year Change of Cd, Fe, and Al Concentrations in the Air by Using Annual Rings of *Corylus colurna* L. *Water, Air, & Soil Pollution*, 233(7), 1-13.
- Koc, I., Cobanoglu, H., Canturk, U., Key, K., Kulac, S., & Sevik, H. (2024). Change of Cr concentration from past to present in areas with elevated air pollution. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 21(2), 2059-2070.
- Koç, İ., Canturk, U., Isinkaralar, K., Ozel, H. B., & Sevik, H. (2024). Assessment of metals (Ni, Ba) deposition in plant types and their organs at Mersin City, Türkiye. *Environmental Monitoring and Assessment*, 196(3), 282.
- Koc, İ., Canturk, U., Cobanoglu, H., Kulac, S., Key, K., & Sevik, H. (2025). Assessment of 40-year Al Deposition in some Exotic Conifer Species in the Urban Air of Düzce, Türkiye. *Water Air Soil Pollut* 236, 76. <https://doi.org/10.1007/s11270-024-07723-z>
- Kuzmina, N., Menshchikov, S., Mohnachev, P., Zavyalov, K., Petrova, I., Ozel, H. B., Aricak, B., Onat, S. M., and Sevik, H. (2023). Change of aluminum concentrations in specific plants by species, organ, washing, and traffic density. *BioResources*, 18(1), 792-803.
- Li, L., Ruan, T., Lyu, Y., & Wu, B. (2017). Advances in effect of germanium or germanium compounds on animals—a review. *Journal of biosciences and medicines*, 5(7), 56-73.
- Nordberg, G. F., Fowler, B. A., Nordberg, M., & Friberg, L. (2005). *Handbook on the Toxicology of Metals*, European Environment Agency, Copenhagen
- Ozturk Pulatoglu, A., Koç, İsmail, Özel, H. B., Şevik, H., and Yıldız, Y. (2025). "Using trees to monitor airborne Cr pollution: Effects of compass direction and woody species on Cr uptake during phytoremediation." *BioResources*, 20(1), 121–139.
- Şevik, H., Yıldız, Y., Özel, H.B. (2024). Phytoremediation and Long-term Metal Uptake Monitoring of Silver, Selenium, Antimony, and Thallium by Black Pine (*Pinus nigra* Arnold)". *BioResources*, 19(3). 4824-4837.
- Sevik, H., Koç, İ. & Cobanoglu, H. (2024). Determination of Some Exotic Landscape Species As Biomonitors That Can Be Used for Monitoring and Reducing Pd Pollution in the Air. *Water Air Soil Pollut*, 235, 615. <https://doi.org/10.1007/s11270-024-07429-2>
- Sevik, H., Uzun Ozel, H., Yildiz, Y., and Ozel, H. B. (2025). Effects of adding Fe₂O₃ and Fe₃O₄ nanoparticles to soil on germination and seedling characteristics of Oriental beech. *BioResources*, 20(1), 70-82.
- Sulhan, O.F., Sevik, H. & Isinkaralar, K. (2022). Assessment of Cr and Zn deposition on *Picea pungens* Engelm. in urban air of Ankara, Türkiye. *Environ Dev Sustain*, (2022). <https://doi.org/10.1007/s10668-022-02647-2>
- Tao, S. H., & Bolger, P. M. (1997). Hazard assessment of germanium supplements. *Regulatory toxicology and pharmacology*, 25(3), 211-219.
- WHO, (2024) https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_1
- Yasar Ismail, T. S., Ismail, M. D., Çobanoğlu, H., Koç, İ., & Sevik, H. (2024). Monitoring arsenic concentrations in airborne particulates of selected landscape plants and their potential for pollution mitigation. *Forestist*, DOI:10.5152/forestist.2024.24071
- Yayla, E. E., Sevik, H., & Isinkaralar, K. (2022). Detection of landscape species as a low-cost biomonitoring study: Cr, Mn, and Zn pollution in an urban air quality. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194(10), 1-10.
- Zhang, X. (2019). The history of pollution elements in Zhengzhou, China recorded by tree rings. *Dendrochronologia*, 54, 71-77.
- Zheng, J., Yang, L., Deng, Y., Zhang, C., Zhang, Y., Xiong, S., ... & Gong, D. (2020). A review of public and environmental consequences of organic germanium. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 50(13), 1384-1409.

Ürkmez Baraj Gölü (İzmir-Türkiye)'nün Fitoplankton Kompozisyonu

Haşim Sömek¹  Fatma Rabia Karaduman²  Gülşah Coşkunışık Mart² 

Özet: Ürkmez Baraj Gölü İzmir ilinin Seferihisar ilçesi sınırları içerisinde yer almakta olup, 1985 ve 1989 yılları arasında, içme ve kullanım amaçlı su ihtiyacını karşılamak üzere inşa edilmiştir. Barajın, gövde dolgu tipi toprak, talvegden yüksekliği 45 m, gövde hacmi 991 dam³, normal su kotunda göl alanı 1 km² ve göl hacmi 7 hm³dir. Deniz seviyesinden yüksekliği yaklaşık 35 m olan, bu baraj gölü'nün su kaynaklarını yağmur suları ve baraja adını veren Ürkmez deresi oluşturmaktadır. Bu çalışmada, Ürkmez Baraj Gölü'nün fitoplankton kompozisyonunun belirlenmesi ve fitoplanktonun mevsimsel değişimlerinin ortaya konması amaçlanmıştır. Bu çalışma için, Mart 2014 ve Şubat 2015 ayları arasında ve belirlenen bir örnekleme noktasından aylık periyotlarla fitoplankton örnekleri alınmış ve yerinde bazı fiziksel parametreler ölçülmüştür. Ürkmez Baraj Gölü'nde yüzey, orta ve dip suyunda yapılan sıcaklık ölçümleri, yüzeyde 9,0-28,3 °C arasında, orta derinlikte 8,8-27,4 °C arasında, dipte 8,6-16,6 °C arasında değişimler göstermiştir. Derinlik 10-23 m arasında, Secchi derinliği ise 0,6-3,6 m arasında değişmiştir. Ürkmez Baraj Gölü'nde Cyanobacteria (5 takson), Chlorophyta (7 takson), Myzozoa (3 takson), Euglenozoa (4 takson), Ochrophyta-Bacillariophyceae (6 takson), Ochrophyta- Chrysophyceae (2 takson) ve Cryptophyta (1 takson) bölümlerine ait olmak üzere, toplam 28 takson çalışma süresi boyunca tespit edilmiştir. Bu bulgular ile Türkiye tatlısu alg florasının ve dağılımlarının ortaya koyan literatüre katkılar sağlanmıştır. Bu fitoplankton taksonlarının, Türkiye baraj göllerinde yaygın olarak gözlemlendiği ve çoğunlukla mezotrofik ve kararsız su kolonuna sahip sucul ekosistemlere uyumlu oldukları değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ürkmez Baraj Gölü, Fitoplankton, Süksesyon, Mezotrofik

Phytoplankton Composition of Ürkmez Dam Lake (İzmir-Türkiye)

Abstract: Ürkmez Dam Lake is located within the borders of the Seferihisar district of İzmir province and was built between 1985 and 1989 years to meet the water needs for drinking and usage purposes. The dam has a body fill type of soil, a height of 45 m from the thalweg, a body volume of 991 dam³, a lake area of 1 km² at normal water level and a lake volume of 7 hm³. The water resources of this dam lake, which is approximately 35 m above sea level, are rainwater and the Ürkmez stream, which gives its name to the dam. The aim of this study was to determine the phytoplankton composition of Ürkmez Dam Lake (İzmir-Türkiye) and to carried out the seasonal changes in phytoplankton. For this study, phytoplankton samples were taken from a selected sampling point at monthly intervals between March 2014 and February 2015 and some physical parameters were measured in situ. Temperature measurements in the surface, middle and bottom waters of Ürkmez Dam Lake showed changes between 9.0-28.3 °C at the surface, 8.8-27.4 °C at the middle depth and 8.6-16.6 oC at the bottom. Depth varied between 10-23 m and Secchi depth varied between 0.6-3.6 m. A total of 28 taxa belonging to the divisions Cyanobacteria (5 taxa), Chlorophyta (7 taxa), Myzozoa (3 taxa), Euglenozoa (4 taxa), Ochrophyta-Bacillariophyceae (6 taxa), Ochrophyta-Chrysophyceae (2 taxa) and Cryptophyta (1 taxa) were identified in Ürkmez Dam Lake during the study period. These findings have contributed to the literature revealing the freshwater algal flora and distribution of Türkiye. It was evaluated that these taxa are commonly observed in Turkish dam lakes and are mostly compatible with aquatic ecosystems with mesotrophic and unstable water column.

Keywords: Ürkmez Reservoir, Phytoplankton, Succession, Mesotrophic

Makale Bilgisi (Araştırma)

1 İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Temel Bilimler Bölümü, Çiğli, İzmir, Türkiye
2 1 İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çiğli, İzmir, Türkiye

***Sorumlu yazar:**

hasim.somek@ikc.edu.tr

Alıntı: Sömek, H., Karaduman, F. R., Coşkunışık Mart, G., (2025), Ürkmez Baraj Gölü (İzmir-Türkiye)'nün Fitoplankton Kompozisyonu, Memba Su Bilimleri Dergisi, 11, (1) 34–41, <https://doi.org/10.58626/memba.1667332>

Başvuru Tarihi: 19 Ocak 2025

Kabul Tarihi: 19 Mart 2025

Yayın Tarihi: 28 Mart 2025

1. Giriş

Bir akarsuyun aktığı derin vadilerin önüne bir set yapılandırılması ile oluşturulan baraj gölleri, doğal ortamlarda durgun su ekosistemleri veya yapay göller olarak yerlerini almaktadır. Günümüz insan toplumunun artan ihtiyaçları (enerji eldesi, su temini, taşkın kontrolü, rekreasyon vb.) sebebiyle, akarsular üzerine 60 binden fazla büyük baraj inşa edilmiş ve küçük olanlar da dahil edildiğinde baraj göllerinin sayısı dünya ölçeğinde dikkat çekici bir artış göstermiştir (ICOLD, 2024). Ekolojik karakteristikleri yönünden doğal göllerden farklılıkları olan baraj gölleri (Thornton vd., 1990), çeşitli coğrafyalardaki fitoplankton araştırmacılarının da geçmişten bugüne yeni çalışma sahaları olarak ilgisini çekmiştir (Dzialowski vd., 2005; Zeng vd., 2006; Cabecinha vd., 2009; Yajima vd., 2013). Fitoplankton topluluklarının yapısı; su karışımları, ışık, sıcaklık, besin maddeleri ve otlayıcılar gibi birçok fizikokimyasal ve biyolojik etkenler tarafından şekillendirilmektedir (Reynolds vd., 2002; Reynolds, 2006). Bu etkenler içerisinde, karışımlar sebebiyle oluşan su kolonundaki kararsızlığın tür kompozisyonlarındaki değişimlerin başlıca etkeni olabileceği, fitoplankton dinamiği üzerine çalışan araştırmacılar tarafından ayrıca ortaya konmuştur (Calijuri vd., 2002). Bununla birlikte, çoğu zaman kararsız ekosistemler olarak tanımlanan baraj gölleri, doğal göller ile benzerliklerine rağmen, kullanım amacıyla gerçekleştirilen su seviyesi değişimleri nedeniyle, fiziksel, kimyasal ve biyolojik karakteristikleri bakımından özgün ekosistemlerdir (Geraldine ve Boavida, 1999). Tüm bu karakteristik özelliklerinin yanında, günümüzde, baraj gölleri birincil kullanım amaçlarının yanında balıkçılık ve akuakültür gibi su ürünleri sektörü faaliyetleri için de potansiyel üretim alanları olarak değerlendirilmektedir (Akova, 2015; Zaniboni-Filho vd., 2018). Baraj göllerinde gerçekleştirilen veya gerçekleştirilecek olan bu faaliyetlerinin uygunluğunun tespit edilmesi ve çevresel sorunlara yol açmadan sürdürülebilmesi için ekolojik özelliklerinin izlenmesi gerekmektedir (Nobile vd., 2020). Pelajik besin zincirinin birincil üreticileri olan fitoplanktonik organizmalar, sucul ekosistemlerin verimliliğini ve ekolojik statüsünü belirlemede indikatör organizmalar olarak değerlendirilir (Padisák vd., 2006).

Profesyonel baraj veya rezervuar bilgilerinin küresel paylaşımına adanmış bir sivil toplum kuruluşu olan Uluslararası Büyük Barajlar Komisyonu (ICOLD; https://www.icold-cigb.org/article/GB/world_register/general_synthesis/number-of-dams-by-country, son erişim: 6 Ocak 2024) tarafından düzenli olarak güncellenmektedir. Bu komisyona göre 1.903 adet baraj gölüyle Türkiye, dünyada 5. sırada yer almaktadır. Son zamanlarda, bu dönüştürülmüş ve yapay tatlısu ekosistemleri, hiç şüphesiz ülkemiz sucul habitatlarında çalışan çeşitli araştırmacıların odağında bulunmuş ve yeni araştırma fırsatları olarak değerlendirilmiştir (Maraşlıoğlu ve Gönülol, 2014; Kükre ve Mutlu, 2019; Aykut vd., 2021). Ülkemizde, araştırma konumuz olan baraj göllerinin fitoplanktonu üzerine ilk ayrıntılı çalışma ise Kurtboğazı Baraj Gölü'nde yapılmıştır (Aykulu ve Obalı, 1981). Daha sonraki yıllarda, baraj göllerinin fitoplankton kompozisyonu üzerine ve Türkiye Tatlısu Alg Florası'nın ortaya konmasına önemli katkılar sağlayan çok sayıda ayrıntılı bilimsel çalışma gerçekleştirilmiştir (Gönülol vd., 1996; Aysel, 2005). Literatür taramalarımıza göre, çalışma sahamız olan Ürkmez Baraj Gölü'nde ise sucul yaşam üzerine herhangi bir makaleye rastlanılmamıştır. Bu çalışma ile, Ürkmez Baraj Gölü'nün fitoplankton kompozisyonu üzerine ilk bulguların literatüre kazandırılması amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metod

Ürkmez Baraj Gölü (ÜBG), İzmir ilinin Seferihisar ilçesi sınırları içerisinde, 1985-1989 yılları arasında, içme ve kullanım amaçlı su ihtiyacını karşılamak üzere inşa edilmiş olan barajın, gövde dolgu tipi toprak, talvegden yüksekliği 45 m, gövde hacmi 991 dam³, normal su kotunda göl alanı 1 km² ve göl hacmi 7 hm³dir (DSİ, 2011). Deniz seviyesinden yüksekliği yaklaşık 35 m olan, Ürkmez Baraj Gölü'nün su kaynaklarını yağmur suları ve baraja adını veren Ürkmez deresi oluşturmaktadır. ÜBG'nün fitoplankton kompozisyonunu belirlemek üzere baraj setinin hemen gerisindeki en derin bölgesinde 38° 05' 42"K ve 26° 57' 22"D koordinatlarında bir örnekleme noktası seçilmiştir. (Şekil 1.)



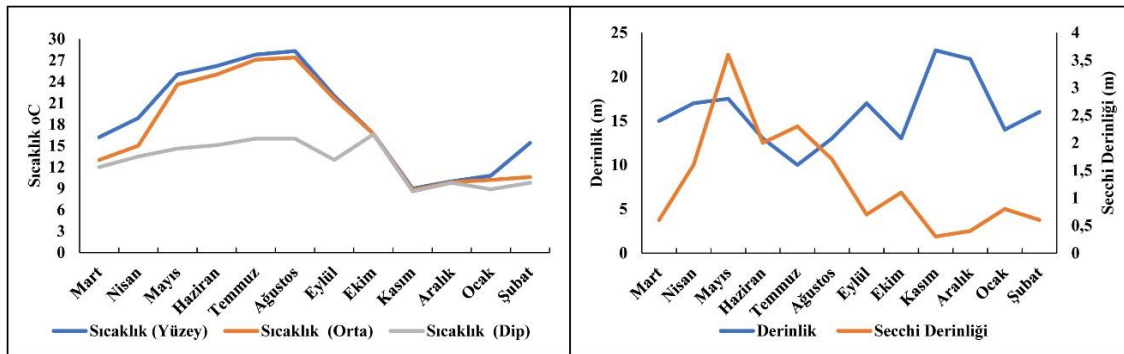
Şekil 1. Çalışma alanı.

Fitoplankton örneklemeleri bir yıl süre (Mart 2014-Şubat 2015) ile aylık periyotlarla yapılmıştır. Belirlenen örnekleme noktasından 55 µm ağ göz açıklığına sahip plankton kepçesi (Hydrobios) ile 15 dakika daireler çizerek horizontal fitoplankton örneklemeleri gerçekleştirilmiştir. Su örneklemeleri için Ruttner (Hydrobios) örnekleme ekipmanı kullanılmıştır. Alınan su örneklerinden termometre ile sıcaklık ölçümleri yerinde yapılmıştır. Secchi derinliği ve derinlik ölçümleri için metrajlı halata bağlı 30 cm çapında siyah-beyaz Secchi disk kullanılmıştır. Tür teşhisleri ve sayımlar Olympus CKX 41 ters mikroskop ile farklı büyütme oranlarında (x100, x200, x400) gerçekleştirilmiştir. İpliği veya koloni şeklindeki formlar bir organizma olarak kabul edilmiş olup, fitoplankton türlerinin nispi bolluklarının hesaplanabilmesi için, incelenecek her bir preparatta en az 400 birey sayılmış ve Nispi bolluk= (A) türünün toplam birey sayısı/Toplam Birey sayısı x 100 formülünden yararlanılmıştır.

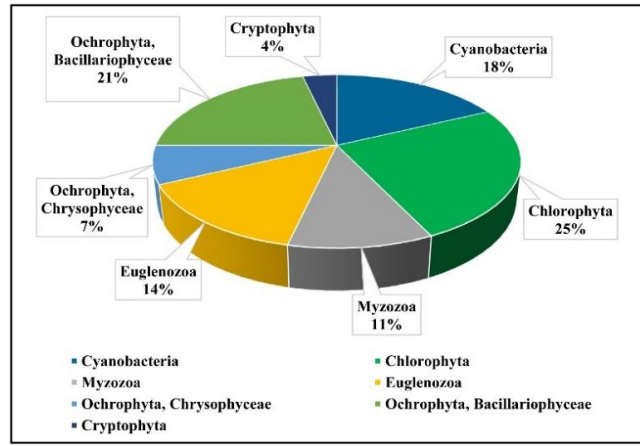
Fitoplankton örneklerinin tayin edilmesinde Huber-Pestalozzi (1941, 1942, 1950), Bourrelly (1966, 1968, 1970), Philipose (1967), Hartley vd. (1996), Komárek ve Anagnostidis (1999), John vd. (2002), Komárek ve Zapomelova (2007), eserlerinden yararlanılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

Ürkmez Baraj Gölü (ÜBG)'nde yüzey, orta ve dip suyunda yapılan sıcaklık ölçümleri, yüzeyde 9,0-28,3 °C arasında, orta derinlikte 8,8-27,4 °C arasında, dipte 8,6-16,6 °C arasında değişimler göstermiştir. Derinlik 10-23 m arasında, Secchi derinliği ise 0,6-3,6 m arasında değişmiştir (Şekil 2). Elde edilen bu bulgular sonucunda, ÜBG' nün çalışma süresince meydana gelen su girişleri veya boşaltımları nedeniyle istikrarsız bir su kolonu yapısına sahip olduğu değerlendirilmiştir. Baraj göllerinin kendine özgü bu su seviyesi değişimlerinin fitoplankton toplulukları ve ortamın limnolojik karakteri üzerinde önemli etkileri olduğu bilimsel çalışmalarla ortaya konmuştur (Gerald ve Boavida, 1999; Fang vd., 2025). ÜBG'nün fitoplankton kompozisyonunda Cyanobacteria, Chlorophyta, Myxozoa, Euglenozoa, Ochrophyta ve Cryptophyta bölümlerine ait alg taksonları tespit edilmiştir. Fitoplankton kompozisyonunun alg bölümlerine göre yüzde dağılımlarına bakıldığında % 25 ile en baskın bölümün Chlorophyta olduğu belirlenmiştir. %21 ile Ochrophyta bölümünün Bacillariophyceae sınıfı, %18 ile Cyanobacteria, %14 ile Euglenozoa, %11 ile Myxozoa bölümleri fitoplankton kompozisyonunu şekillendirmiştir. Diğer bölümler ise %10 dan daha az oranlarda gözlenmişlerdir (Şekil 3).



Şekil 2. Ürkmez Baraj Gölü'nde Sıcaklık, Derinlik ve Secchi derinliği değişimleri.



Şekil 3. Ürkmez Baraj Gölü'nde fitoplankton kompozisyonun bölümlere göre yüzde dağılımı.

Örnekleme periyodu süresince, ÜBG'nde fitoplanktonda Cyanobacteria bölümünden 5, Chlorophyta bölümünden 7, Myxozoa bölümünden 3, Euglenozoa bölümünden 4, Ochrophyta bölümünün Bacillariophyceae sınıfından 6, Chrysophyceae sınıfından 2 ve Cryptophyta bölümünden 1 olmak üzere, toplamda 28 alg taksonu teşhis edilmiştir. Tespit edilen taksonlar Türkiye tatlısuları için kozmopolit olup, bu taksonlar sistematik hiyerarşi dikkate alınarak aşağıdaki çizelgede listelenmiş ve nispi bollukları verilmiştir (Çizelge 1).

Çizelge 1. Ürkmez Baraj Gölü fitoplanktonu ve taksonların (%) nispi bollukları.

	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat
Cyanobacteria												
<i>Aphanizomenon gracile</i> Lemmermann				4	1 0	1 5	+	+				
<i>Gomphosphaeria aponina</i> Kützing	2 2	+										+
<i>Microcystis aeruginosa</i> (Kützing) Kützing			+	2	3	+						
<i>Woronichinia naegeliana</i> (Unger) Elenkin	+	+	+									+
<i>Oscillatoria tenuis</i> C.Agardh ex Gomont	+											
Chlorophyta												
<i>Botryococcus braunii</i> Kützing	+	+	+								+	+
<i>Chlorangiopsis epizootica</i> (Pascher) Korshikov	+									+	+	+
<i>Pseudopediastrum boryanum</i> (Turpin) E.Hegewald			+	1	1	+						
<i>Pediastrum duplex</i> Meyen			+	1	1	+	+	+	+			
<i>Monactinus simplex</i> (Meyen) Corda		+	+	1	2	2	1 8	1 0	4	3		
<i>Binuclearia lauterbornii</i> (Schmidle) Proschkina-Lavrenko						+	4 4	4 0	3 4	2 2	1 9	5
<i>Scenedesmus</i> sp.	+	+	+									+
Myxozoa												
<i>Ceratium hirundinella</i> (O.F.Müller) Dujardin	3	1	2	2 1	3 6	3 3	5	5	6	5	4	6
<i>Peridinium cinctum</i> (O.F.Müller) Ehrenberg		+	2	7	1 0	4	1 2	7	7	9	5	5
<i>Peridiniopsis cunningtonii</i> Lemmermann		2	1	1	5	2	+					
Euglenozoa												
<i>Euglena tuberculata</i> Swirenko				3	1	+	+	+	+			
<i>Phacus longicauda</i> (Ehrenberg) Dujardin	2	+	+									
<i>Phacus tortus</i> (Lemmermann) Skvortzov	1	+										
<i>Trachelomonas planctonica</i> Svirenko	1	9	3	1	1	1	2	3	2	1	2	3

	7	5	0	6	0	7	7	9	6	0
Ochrophyta, Chrysophyceae										
<i>Dinobryon divergens</i> O.E.Imhof	+	+	4	4	2	2				+
<i>Dinobryon sociale</i> var. <i>americanum</i> (Brunnthaler) Bachmann	+	+	6	0	0	6				+
Ochrophyta, Bacillariophyceae										
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen	+							5	1	1
									1	3
<i>Pantocsekiella ocellata</i> (Pantocsek) K.T.Kiss & E.Ács	1	8	4	1	+	+	+	+	5	1
	5	7	5						4	+
<i>Rhopalodia gibba</i> (Ehrenberg) Otto Müller	+	+								+
<i>Surirella robusta</i> Ehrenberg	+	+								+
<i>Ulnaria acus</i> (Kützing) Aboal	+	+	+	+	+	+	+	+	1	1
									0	5
<i>Ulnaria ulna</i> (Nitzsch) Compère		+	+	+	+	+	+	+	1	1
										2
Cryptophyta										
<i>Cryptomonas ovata</i> Ehrenberg	3	+	+	+				+	+	1
	5									9
										3
										1

Chlorophyta üyeleri çalışma süresince fitoplanktonda en çok taksonla temsil edilen alg grubu olmuşlardır ve Eylül-Aralık ayları arasında takson sayısı olarak baskın bulunmuşlardır. Bu bölüm üyelerinden *Binuclearia lauterbornii* (Syn: *Planctonema lauterbornii*) ve *Monactinus simplex* (Syn: *Pediastrum simplex*) bu dönemlerde fitoplanktonda baskın ve alt baskın olmuşlardır. *Botryococcus braunii*, *Pseudopediastrum boryanum*, *Pediastrum duplex* türleri ise diğer sık gözlenen taksonlardır. Bunlardan *B. lauterbornii*, Akdeniz bölgesinde yapılandırılmış sert sulara sahip ve mezotrofik karakterli baraj göllerinden bildirilmiştir (Ramón ve Moyà 1984, Dasí vd., 1998). *Pediastrum* türlerinin nutriyentce zengin durgun su yapılarında bulunabildiği, ancak *B. braunii* türünün de temiz göllerin epilimniyon tabakalarında bulunabildiği ve bulanık koşullara iyi uyum sağlayabildiği bildirilmiştir (Reynolds vd., 2002).

Chlorophyta üyelerinden sonra, tür çeşitliliği bakımından Bacillariophyceae (Ochrophyta) sınıfı alglerin fitoplanktonda ikinci en baskın grup oldukları belirlenmiştir. Sentrik Bacillariophyceae (Diatom) türleri besin maddelerinin fazla, karışımın ve bulanıklığın yüksek olduğu su yapılarına tolerans gösteren alglerdir. (Izaguirre vd., 2001). Bu alglerden *Pantocsekiella ocellata* (Syn: *Cyclotella ocellata*), ÜBG fitoplanktonunda en sık gözlenen ve zaman zaman alt baskın takson olarak saptanmıştır. *Cyclotella* türleri ülkemizdeki birçok baraj gölünde de baskın türler olarak kaydedilmiştir (Gönülol ve Aykulu, 1984; Çelekli ve Öztürk, 2014; Yılmaz, 2018). Sentrik diatomelerden *Aulacoseira granulata* fitoplankton kompozisyonunda nispeten sıklıkla tespit edilmiştir ve *Aulacoseira* spp. nin bulanık su kolonuna sahip baraj göllerinde kozmopolit ve baskın olabildikleri bildirilmiştir (Hutchinson, 1967; Reynolds vd., 1993). Yine, bu çalışma süresince sıklıkla gözlenen *Ulnaria acus* türünün fazlaca besin maddeleri bulunan ve turbiditesi yüksek sucul habitatlarda tespit edildiği, *U. ulna* türünün ise daha çok ötrof göllerin yaygın türlerinden olduğu bildirilmiştir (Hustedt, 1930; Reynolds vd., 2002).

Myxozoa (Dinoflagellata) bölümünden ÜBG fitoplanktonunda 3 alg türü bulunmuş, bunlardan *Ceratium hirundinella* çalışma periyodunun tamamında belirlenmiştir. Bu alg türün daha çok mezotrofik ve ötrofik göllerin epilimniyonunda bulunabildiği bilinmektedir (Reynolds vd., 2002). *C. hirundinella* ülkemizde birçok baraj gölünün fitoplanktonunda de baskın ve alt baskın organizma olarak rapor edilmiştir (Baykal vd., 2004; Çetin ve Şen, 2004). Bu bölüm üyelerinden ikinci en sık gözlenen *Peridinium cinctum* türü ise bazı baraj göllerimizde, genellikle yaz mevsiminde yaygın ve bol olarak bulunduğu bildirilmiştir (Gönülol ve Obalı, 1998; Taş ve Gönülol, 2007).

Organik madde bakımından zengin ve sığ sulak alanlarda bulunduğu bilinen Euglenozoa (Euglenophyta) bölümü üyeleri (Wołoski, 2002), ÜBG fitoplankton kompozisyonunda oldukça az taksonla temsil edilmelerine rağmen, özellikle *Trachelomonas planctonica* örneklem periyodu boyunca sürekli ve bazı aylarda alt baskın tür olarak gözlenmiştir. Işık ve nutriyent sınırlılığının olduğu durumlarında, tam olarak ototrof olmayan ve mikzotrofik protistler olarak kabul edilebilecek Euglenozoa üyelerinin, bulanık koşullara sahip baraj göllerine başarılı şekilde uyum gösterebildikleri üzerine bulgular bildirilmiştir (Amengual-Morro vd., 2012; Pęczuła vd., 2014).

Araştırma alanımızda Cryptophyta bölümünden sadece *Cryptomonas ovata* türü saptanmıştır. Daha çok kış mevsiminde gözlenmiş *C. ovata* türünün kısıtlı ışık bulunan sucul ortamlara toleranslı olduğu belirtilmiştir (Reynolds vd., 2002). Bu türe ülkemizdeki baraj göllerinde de çoğunlukla rastlanılmıştır (Ongun-Sevindik, 2010; Ersanlı ve Gönülol, 2014; Dalkıran vd., 2024). Bu çalışmada Chrysophyceae (Ochrophyta) üyelerinden *Dinobryon* cinsinden iki tür bulunmuş ve bu iki türden *D. divergens* ilkbahar ve yaz aylarında sıklıkla gözlemlenmiştir. Çoğunlukla besleyici maddeler bakımından zayıf ve oligotrofik gölleri tercih ettiği bilinen (Reynolds vd., 2002) bu türlerin, aşırı çoğaldığında da suda balık kokusuna neden olabildiği bildirilmiştir (Palmer,

1980). Bu tür, Kemer Baraj Gölü'nde de ilkbahar ve yaz mevsimlerinde tespit edilmiştir (Özyalın ve Ustaoglu, 2008).

Cyanobacteria üyeleri fitoplankton kompozisyonunda nispeten az taksonla temsil edilmiş, araştırma periyodu boyunca *Aphanizomenon gracile* ve *Gomphosphaeria aponina* bu bölümden en sık rastlanılan türler olmuşlardır. Birden fazla ötrofik gölde, planktonik Bacillariophyceae (Diyatomlar) ve Cyanobacteria üyelerinin (siyanobakteriler) baskınlığını kontrol eden süreçler üzerine gerçekleştirilen bir araştırmada, su sıcaklığının 15 °C' nin altında ve su kolonunun kararsız olduğu periyotlarda diyatomelerin ve nadir olarak da Chlorophyta türlerinin baskın olabildiği, su sıcaklığının 15 °C' nin üzerinde ve su sütununun durağan olduğunda ise siyanobakterilerin baskın olabildiği ortaya konmuştur (Zhang ve Prepas, 1996). Su kolonu istikrarının yıl boyu çoğunlukla düşük olduğu ÜBG'nde de siyanobakterilerin aşırı çoğaldığı veya fitoplankton kompozisyonunda baskın olduğu bir dönem tespit edilememiştir.

4. Sonuç

Gerçekleştirdiğimiz çalışmalar sonucunda, Ürkmez Baraj Gölü fitoplankton kompozisyonunun baraj göllerinin kararsız su kolonu tipolojisine uyum sağlayabilen ve çoğunlukla mezotrofik kısmen de ötrofik ortamlara özgü türlerden oluştuğu değerlendirilmiştir. Ülkemizde baraj göllerinin sayısı oldukça fazla ve akarsular üzerine yenileri yapılandırılmaya devam etmektedir. Normal olmayan su seviyesi değişimleri sebebiyle, doğal göllere kıyasla özgün ve farklı bir ekosistem dinamiği gösteren baraj göllerinin ekolojisi ve fitoplankton yapısının daha iyi anlaşılabilmesi, buralardan sağlanacak ekosistem hizmetlerinin ve su ürünleri üretiminin sürdürülebilirliği bakımından da önemlidir.

5. Teşekkür

Bu çalışmayı, 2013-3-FMBP-21 numaralı proje kapsamında destekleyen İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi ve Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine teşekkür ederiz.

6. Etik Standartlara Uygunluk

a) Yazarların Katkıları

1. H.S.: Çalışmayı tasarladı, arazi çalışmasını gerçekleştirerek örnekleri elde etti, tür tayinlerini gerçekleştirerek analizleri yaptı ve yorumladı, makaleyi yazdı,
2. F.R.K.: Literatür taraması yaptı, arazi çalışmasını gerçekleştirerek örneklerin elde etti, makaleyi kontrol etti,
3. G.C.M.: Literatür taraması yaptı, arazi çalışmasını gerçekleştirerek örneklerin elde etti, makaleyi kontrol etti.

b) Çıkar Çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan ettiler.

c) Hayvanların Refahına İlişkin Beyan

İlgili değil

d) İnsan Hakları Beyanı

Bu çalışmada insan denek bulunmamaktadır.

e) Finansman

Bu çalışma, 2013-3-FMBP-21 numaralı proje kapsamında İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi ve Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından finansal olarak desteklenmiştir.

7. Kaynakça

- Akova, S. B. (2015). Aquaculture and its distribution in Turkey. Journal of Aquaculture Engineering and Fisheries Research, 1(4), 160-190
- Amengual-Morro, C., Niell, G. M., & Martínez-Taberner, A. (2012). Phytoplankton as bioindicator for waste stabilization ponds. Journal of Environmental Management, 95, S71-S76
- Aykulu, G. & Obalı, O., 1981, Phytoplankton Biomass in Kurtboğazı dam lake. Commun. Faculty Science University Ankara 24 (C2) : 29 – 45
- Aykut, T. O., Balkis, N., Durmuş, T., & Solak, C. N. (2021). Evaluation of the relationship between epiphytic diatoms and water quality parameters in the Büyükçekmece reservoir. European Journal of Biology, 80(1), 54-68
- Aysel, V. (2005). Check-list of the freshwater algae of Turkey. Journal of Black Sea/Mediterranean Environment, 11(1), 1-124
- Baykal, T., Açıkgöz, I., YILDIZ, K., & BEKLEYEN, A. (2004). A study on algae in Devegeçidi Dam Lake. Turkish Journal of Botany, 28(5), 457-472
- Bourrelly, P., 1966. Les Algues d'eau douce . Initiation à la systématique. Tome 1 : Les Algues Vertes. Paris,

- Boubée éd., 1-511, 117 pl.
- Bourrelly, P., 1968, Les Algues d'eau douce . Initiation á la systématique. Tome 2 : Les Algues jaunes et brunes. Chrysophycées, Phéophycées, Xanthophycées et Diatomées. Paris, Boubée éd., 1- 438, 114 pl., 1tabl.
- Bourrelly, P., 1970, Les Algues d'eau douce . Initiation á la systématique. Tome 3 : Les Algues bleues et rouges. Les Eugléniens, Péridiniens et Cryptomonadines. Paris, Boubée éd., 1-512, 137 pl.
- Cabecinha, E., Van den Brink, P. J., Cabral, J. A., Cortes, R., Lourenço, M., & Pardal, M. Â. (2009). Ecological relationships between phytoplankton communities and different spatial scales in European reservoirs: implications at catchment level monitoring programmes. *Hydrobiologia*, 628, 27-45
- Calijuri, M. D. C., Dos Santos, A. C. A., & Jati, S. (2002). Temporal changes in the phytoplankton community structure in a tropical and eutrophic reservoir (Barra Bonita, SP-Brazil). *Journal of plankton research*, 24(7), 617-634
- Çelekli, A., & Öztürk, B. (2014). Determination of ecological status and ecological preferences of phytoplankton using multivariate approach in a Mediterranean reservoir. *Hydrobiologia*, 740, 115-135
- Çetin, A. K., & Şen, B. (2004). Seasonal distribution of phytoplankton in Orduzu dam lake (Malatya, Turkey). *Turkish Journal of Botany*, 28(3), 279-285
- Dalkıran, N., Yoldaş, B., & Bulut, C. (2024). Sarıyar, Gökçekaya ve Yenice Baraj Göllerinin (Eskişehir, Ankara) Fitoplanktonunun ve Su Kalitesinin Değerlendirilmesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 27(4), 802-816
- Dasí, M. J., Miracle, M. R., Camacho, A., Soria, J. M., & Vicente, E. (1998). Summer phytoplankton assemblages across trophic gradients in hard-water reservoirs. *Hydrobiologia*, 369, 27-43. <https://doi.org/10.1023/A:1017051322293>
- DSİ, 2011, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, "Barajlar", <http://www2.dsi.gov.tr/baraj/detay.cfm?BarajID=153>, Erişim Tarihi: 13 Mayıs 2011
- Dzialowski, A. R., Wang, S. H., Lim, N. C., Spotts, W. W., & Huggins, D. G. (2005). Nutrient limitation of phytoplankton growth in central plains reservoirs, USA. *Journal of Plankton Research*, 27(6), 587-595
- Ersanlı, E. T., & Gönüloğlu, A. (2014). Phytoplankton dynamics and some physicochemical variables in Cakmak Reservoir (Samsun, Turkey). *Manas Journal of Agriculture Veterinary and Life Sciences*, 4(1), 17-25
- Fang, L., Mi, W., Li, Y., Ai, X., & Bi, Y. (2025). Water level fluctuations shape phytoplankton community in the Xiangxi Bay from Three Gorges Reservoir. *Journal of Environmental Sciences*
- Geraldes, A. M., & Boavida, M. J. (1999). Limnological comparison of a new reservoir with one almost 40 years old which had been totally emptied and refilled. *Lakes & Reservoirs: Research & Management*, 4(1-2), 15-22
- Gönüloğlu, A., & Aykulu, G. (1984). Çubuk-I baraj gölü algleri üzerinde araştırmalar. I. fitoplanktonun kompozisyonu ve yoğunluğunun mevsimsel değişimi. *Doğa Bilim Dergisi*, 8(3), 330-342
- Gönüloğlu, A., & Obalı, O. (1998). Seasonal variations of phytoplankton blooms in Suat Ugurlu (Samsun-Turkey). *Turkish Journal of Botany*, 22(2), 93-98
- Gönüloğlu, A., Öztürk, M. ve Öztürk, M. (1996). A Check-list of the Freshwater Algae of Turkey. *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi, Fen Dergisi* 7(1): 8-46
- Hartley, B., Barber, H.G., Carter, J.R., and Sims, P.A., 1996. An Atlas of British Diatoms. Biopress Ltd., Bristol, United Kingdom. 601 pp.
- Huber-Pestalozzi, G., 1941, Das Phytoplankton des Süßwassers. (Die Binnengewässer, Band XVI). Teil 2. (i) Chrysophyceen, Farblose Flagellaten Heterokonten. E. Schweizerbart'sche Verlag-sbuchhandlung, Stuttgart.
- Huber-Pestalozzi, G., 1942, Das Phytoplankton des Süßwassers. (Die Binnengewässer, Band XVI). Teil 2. (ii). Diatomeen. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- Huber-Pestalozzi, G., 1950, Das phytoplankton des süßwassers. In Thieenemann, A. Die Binnengewässer. Cryptophyceen, Chloromonodinen, Peridineen, 310 p., 69 pl.
- Hustedt, F. (1930). Die Suesswasserflora Mitteleuropas. Heft. 10, Bacillariophyta (Diatomeae). Verlag Gustav Fisher, Jena. 466 pp.
- Hutchinson, G. E. (1967). A Treatise on Limnology. Volume II, Introduction to Lake Biology and the Limnoplankton. NewYork, John Wiley and Sons, Inc.
- ICOLD (2024). World Register of Dams. ICOLD, www.icold-cigb.net.
- Izaguirre, I., O'Farrell, I., & Tell, G. (2001). Variation in phytoplankton composition and limnological features in a water–water ecotone of the Lower Paraná Basin (Argentina). *Freshwater Biology*, 46(1), 63-74
- John, D. M., Whitton, B. A., & Brook, A. J. (2002). The freshwater algal flora of the British Isles: An identification guide to freshwater and terrestrial algae. Cambridge University Press, New York. 701 p.
- Komárek J. and Anagnostidis K., 1999, Cyanoprokaryota. Chroococcales. In: E. Ettl, G. Gärtner and D. Mollenhauer (eds) Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bd. 19/1. Gustav Fischer JenaStuttgart, Lübeck Ulm: 548 pp.

- Komárek, J. and Zapomelova E., 2007. Planktic morphospecies of the cyanobacterial genus *Anabaena* subg. *Dolichosperum*—1. part: coiled types. *Fottea* 7: 1–31
- Kükrer, S., & Mutlu, E. (2019). Assessment of surface water quality using water quality index and multivariate statistical analyses in Saraydüzü Dam Lake, Turkey. *Environmental monitoring and assessment*, 191, 1-16
- Maraşlıoğlu, F., & Gönülol, A. (2014). Phytoplankton community, functional classification and trophic state indices of Yedikır Dam Lake (Amasya). *Journal of Biological and Environmental Sciences*, 8(24), 133-141
- Nobile, A. B., Cunico, A. M., Vitule, J. R., Queiroz, J., Vidotto-Magnoni, A. P., Garcia, D. A., ... & Ramos, I. P. (2020). Status and recommendations for sustainable freshwater aquaculture in Brazil. *Reviews in Aquaculture*, 12(3), 1495-1517
- Ongun-Sevindik, T., 2010, Phytoplankton Composition of Çaygören Reservoir, Balıkesir-Türkiye. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 10: 295-304
- Özyalın, S., & Ustaoglu, M. R. (2008). Kemer Baraj Gölü (Aydın) Net Fitoplankton Kompozisyonunun İncelenmesi. *Su Ürünleri Dergisi*, 25(4), 275-282
- Padisák, J., Borics, G., Grigorszky, I., & Soróczki-Pintér, É. (2006). Use of phytoplankton assemblages for monitoring ecological status of lakes within the Water Framework Directive: the assemblage index. *Hydrobiologia*, 553, 1-14
- Palmer, C.M., 1980, *Algae and Water Pollution*, Castle House Pub., London
- Pęczuła, W., Szczurowska, A., & Poniewozik, M. (2014). Phytoplankton Community in Early Stages of Reservoir Development--a Case Study from the Newly Formed, Colored, and Episodic Lake of Mining-Subsidence Genesis. *Polish Journal of Environmental Studies*, 23(2), 585-591
- Philipose, M. T., 1967, *Chlorococcales*. I. C. A. R., New Delhi, 365 p.
- Ramón, G. & Moyá, G. (1984). Distribución estacional de *Planctonema lauterbornii* (Ulotrichaceae) en dos embalses de aguas mineralizadas (Cúber y Gorg Blau, Mallorca). *Limnetica* 1: 291-296
- Reynolds, C. S., Padisák, J., & Sommer, U. (1993). Intermediate disturbance in the ecology of phytoplankton and the maintenance of species diversity: a synthesis. *Hydrobiologia*, 249, 183-188
- Reynolds, C. S. (2006). *The ecology of phytoplankton*. Cambridge University Press. 535p.
- Reynolds, C. S., Huszar, V., Kruk, C., Naselli-Flores, L., & Melo, S. (2002). Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. *Journal of plankton research*, 24(5), 417-428
- Taş, B., & Gönülol, A. (2007). Derbent Baraj gölü (Samsun, Türkiye)'nün planktonik algleri. *Journal of FisheriesSciences. com*, 1(3), 111-123
- Thornton, K. W., Kimmel, B. L., & Payne, F. E. (1990). *Reservoir limnology: ecological perspectives*. John Wiley & Sons. New York, 246p.
- Wołoski K. (2002). Phylum Euglenophyta. Pages 144-179 in *The freshwater algal flora of the British Isles*. John D.M Whitton B.A. & Brook A. J. (eds), Cambridge University Press, Cambridge.
- Yajima, H., & Choi, J. (2013). Changes in phytoplankton biomass due to diversion of an inflow into the Urayama Reservoir. *Ecological engineering*, 58, 180-191
- Yılmaz, N. (2018). Assesment of seasonal variation of phytoplankton and related water quality parameters of Sazlıdere Dam Lake (Istanbul, Turkey). *Water Treat*, 131, 107-113
- Zaniboni-Filho, E., Pedron, J. D. S., & Ribolli, J. (2018). Opportunities and challenges for fish culture in Brazilian reservoirs: a review. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 30, e302.
- Zeng, H., Song, L., Yu, Z., & Chen, H. (2006). Distribution of phytoplankton in the Three-Gorge Reservoir during rainy and dry seasons. *Science of the Total Environment*, 367(2-3), 999-1009
- Zhang, Y., & Prepas, E. E. (1996). Regulation of the dominance of planktonic diatoms and cyanobacteria in four eutrophic hardwater lakes by nutrients, water column stability, and temperature. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 53(3), 621-633



Prediction of Water Quality's pH value using Random Forest and LightGBM Algorithms

İbrahim Budak^{1*} 

Abstract: This study aims to compare Random Forest Regression and LightGBM algorithms for the prediction of pH value, which is an important parameter in water quality assessment. The performance of both algorithms is evaluated with metrics such as RMSE, R-squared and AUC (Area Under Curve). The results show that the LightGBM algorithm outperforms Random Forest (0.84) with an AUC value of 0.86 and provides better prediction accuracy, especially on large and complex datasets. These findings demonstrate the applicability of machine learning techniques in environmental monitoring processes and their potential for effective management of water quality. The results highlight the superiority of the LightGBM algorithm in solving environmental problems such as pH prediction, but also provide suggestions for more comprehensive approaches. The application of hybrid modeling techniques, generalizable analyses with datasets from different water sources, and the development of real-time monitoring systems are suggested to extend the findings of the study. This study contributes to the literature by demonstrating the importance of machine learning algorithms in environmental monitoring and water quality management.

Keywords: Water quality, pH value prediction, Random forest, LightGBM, Kaggle Dataset

Random Forest ve LightGBM Algoritmaları Kullanılarak Su Kalitesinin pH Değerinin Tahmini

Özet: Bu çalışma, su kalitesinin değerlendirilmesinde önemli bir parametre olan pH değerinin tahmini için Random Forest Regression ve LightGBM algoritmalarını karşılaştırmayı amaçlamaktadır. Kaggle platformundan elde edilen geniş bir veri seti üzerinde gerçekleştirilen analizlerde, her iki algoritmanın performansı RMSE, R-squared ve AUC (Area Under Curve) gibi metriklerle değerlendirilmiştir. Sonuçlar, LightGBM algoritmasının AUC değeriyle (0.86), Random Forest'tan (0.84) daha yüksek performans sergilediğini ve özellikle büyük ve karmaşık veri setlerinde daha iyi bir tahmin doğruluğu sağladığını göstermiştir. Bu bulgular, makine öğrenimi tekniklerinin çevresel izleme süreçlerindeki uygulanabilirliğini ve su kalitesinin etkin bir şekilde yönetilmesindeki potansiyelini ortaya koymaktadır. Elde edilen sonuçlar, pH tahmini gibi çevresel sorunların çözümünde LightGBM algoritmasının üstünlüğünü vurgulamakla birlikte, daha kapsamlı yaklaşımlar için öneriler de sunmaktadır. Hibrit modelleme tekniklerinin uygulanması, farklı su kaynaklarından alınan veri setleriyle genelleştirilebilir analizlerin yapılması ve gerçek zamanlı izleme sistemlerinin geliştirilmesi, çalışmanın bulgularının genişletilmesi adına önerilmektedir. Bu çalışma, çevresel izleme ve su kalitesi yönetiminde makine öğrenimi algoritmalarının önemini bir kez daha ortaya koyarak literatüre katkı sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Su kalitesi, pH değeri tahmini, Random forest, LightGBM, Kaggle veriseti

Article Info (Research)

¹ Kastamonu University, Data Analysis Monitoring and Evaluation Coordination, Kastamonu / Türkiye

***Corresponding Author:**
ibudak@kastamonu.edu.tr

Citation: Budak, İ. (2025). Prediction of Water Quality's pH value using Random Forest and LightGBM Algorithms. Memba Water Sciences Journal. 11 (1), 42-49.

<https://doi.org/10.58626/memba.1667338>

Submission Date: 29 January 2025

Acceptance Date: 24 March 2025

Publishing Date: 28 March 2025

1. Introduction

After air, water is the second most important requirement for life to exist. As a result, water quality has been extensively defined in the scientific literature. The most popular definition of water quality is “the physical, chemical and biological properties of water”. Water quality is a measure of the condition of water relative to the requirements of one or more biotic species and/or any human need or purpose (Omer, 2019).

Water quality is a term used to describe the chemical, physical and biological characteristics of water. Moreover, the physical, chemical and biological properties of a water body, i.e. “water quality”, determine the suitability of that water for a particular value. Water quality issues have become a rapidly evolving component of environmental sciences, primarily due to the increasing demand for water resources and amenity value and the complex link between water quality use and ecosystem health. Water quality varies markedly over time and space (Meybeck et al., 2006). Water quality is a critical aspect of environmental health, affecting both aquatic ecosystems and human well-being. Effective monitoring and management of water quality is essential to reduce pollution and ensure safe water supplies (Nayak and Panda, 2024).

Water quality prediction plays an important role in protecting human health, maintaining aquatic ecosystems, supporting sustainable water management practices, and ensuring regulatory compliance in aquatic environments. By analyzing a comprehensive dataset of water quality indicators such as pH, dissolved oxygen, and turbidity, the research employs a variety of ML algorithms, including Random Forest, Support Vector Machines, and Gradient Augmentation Machines. Through rigorous training, validation and optimization, models are evaluated for their accuracy, precision and error rates (Rogers and Ambili, 2024).

This study aims to compare Random Forest and LightGBM algorithms to predict the pH value, which is an important parameter in water quality prediction. Using a large dataset obtained from the Kaggle platform, the study evaluates the effectiveness of these two algorithms in terms of metrics such as accuracy, error rate and generalization performance. Although the analysis reveals the strengths of both algorithms, it shows that LightGBM performs better especially on large and complex datasets. In this context, the study aims both to contribute to the identification of suitable methods for fast and accurate water quality monitoring and to contribute to the literature by comparing the performance of different machine learning algorithms.

2. Materials and Methods

This section provides information about Random Forest Regression and LightGBM Regression algorithms, which are machine learning techniques used in the study. The methodological framework of the study is shown in Figure 1.

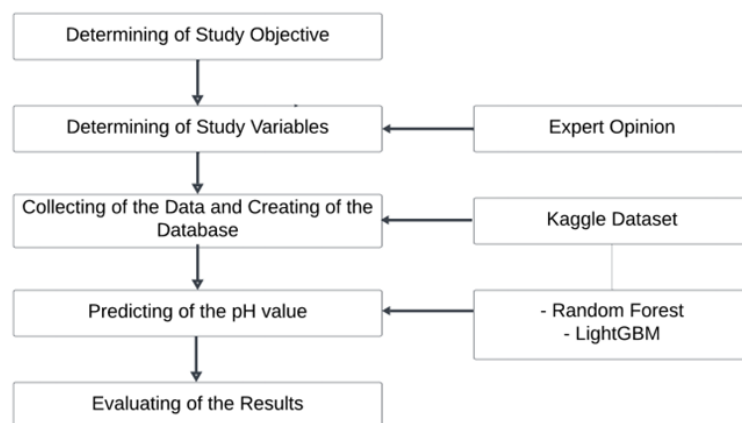


Figure 1. Methodology Framework

2.1. Random Forest Regression Algorithm

Random Forest Regression (RFR) is an ensemble learning method that combines multiple decision trees. This method offers high accuracy and generalization capability in regression problems by combining the predictions of individual decision trees. Each decision tree is constructed using a randomly selected subset of data and a subset of attributes (Breiman, 2001). Each of the decision trees works independently

and the predictions are combined by averaging over all trees. This method reduces the tendency of model overfitting and provides more balanced results (Ganapa et al., 2024).

An important advantage of RFR is that it combines both randomness in the data and diversity in feature selection to reduce the correlation between trees. This correlation is reduced by training each tree on only a random subset of the data (bootstrap sampling) and splitting at each node with only a randomly selected subset of attributes (Segal, 2003). This process increases the generalizability of the model both for datasets with high variance and for complex problems with different attribute types (Li et al., 2018).

Another strong feature of the Random Forest algorithm is that it can produce effective results even in data sets with a high number of variables. In particular, the ability to calculate variable importance scores to measure the information contribution of attributes distinguishes this method from other methods that are perceived as “black boxes”. For example, Ganapa et al. (2024) utilized variable importance analysis to evaluate the impact of attributes on price changes when predicting gold prices based on historical data.

Furthermore, the RFR algorithm has minimal requirements on data preprocessing and parametric assumptions. This allows the user to spend less time on model tuning and allows the algorithm to deal with complex data structures. For example, in Segal (2003), it is reported that RFR gives better results than other machine learning models even with minimal settings in experiments on various datasets.

One of the most remarkable features of this algorithm is that it provides an Out-of-Bag (OOB) error estimate, which is a general performance metric. By testing each decision tree on data not selected during bootstrap sampling, a realistic assessment of the generalization performance of the model can be made. OOB error estimation also eliminates the need for an additional test data set to measure the accuracy of the model (Li et al., 2018).

Mathematical Model

1. Prediction Function:

$$\hat{y} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K h_k(x) \quad (1)$$

Equation (1) calculates the prediction $\hat{y}$ by averaging the predictions of K independent decision trees (Breiman, 2001).

2. Variable Selection and Randomization:

- At each node, a random subset (m) of attributes is evaluated and the best split point is selected from this subset.
- m is usually $\sqrt{p}$ or $\log_2(p) + 1$, depending on the total number of features (p) (Segal, 2003).

3. Out-of-Bag (OOB) Error Prediction:

$$OOB\ Error = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_{OOB,i})^2 \quad (2)$$

In Equation (2), N denotes the total number of data points, and for each data point, only the estimates generated in bootstrap

samples that do not include that point are used (Li et al., 2018).

2.2. LightGBM Algorithm

Light Gradient Boosting Machine (LightGBM) is a gradient boosting algorithm developed by Microsoft. This algorithm is especially optimized for large datasets and datasets with high-dimensional features (Gao and Balyan, 2022). LightGBM differs from traditional gradient boosting algorithms (GBDT) by offering faster training time, low memory usage, and high accuracy (Liang et al., 2019).

Mathematical Model

1. Objective Function: Since LightGBM is a gradient boosting framework, the objective function is expressed as the sum of the loss function (L) and an adjustment term (Ω) (Yang et al., 2021):

$$Obj = \sum_{i=1}^n L(y_i, \hat{y}_i) + \sum_{t=1}^T \Omega(f_t) \quad (3)$$

Equation (3):

- $L(y_i, \hat{y}_i)$: The loss between the true value (y_i) and the predicted value ($\hat{y}_i$),
- $\Omega(f_t) = \gamma T + \frac{1}{2} \lambda \sum_{j=1}^T w_j^2$: The adjustment term controls the complexity of the Tree,
- T : Number of leaves of the tree, w_j : Leaf weights (Gao and Balyan, 2022).

2. Gradient Boosting: LightGBM adds each new decision tree in a way that minimizes the prediction errors of the existing model (Liang et al., 2019):

$$\hat{y}_i^{(t)} = \hat{y}_i^{(t-1)} + \eta f_t(x_i) \quad (4)$$

Equation (4):

- $\hat{y}_i^{(t)}$: Prediction at t -th iteration,
- η : Learning rate,
- $f_t(x_i)$: Prediction made by the decision tree at the t -th iteration (Yang et al., 2021).

3. Histogram Based Division: LightGBM selects the split points by dividing the values of the features into histogram buckets.

This reduces memory usage and computational cost (Gao and Balyan, 2022):

$$Gain = \frac{1}{n_l + n_r} \left[\frac{(G_l)^2}{H_l + \lambda} + \frac{(G_r)^2}{H_r + \lambda} - \frac{(G_l + G_r)^2}{H_l + H_r + \lambda} \right] - \gamma$$

(5)

Equation (5):

- $G_l + G_r$: Gradient sums on the left and right node,
- $H_l + H_r$: Hessian sums on the left and right node,
- λ : L2 regulation parameter (Liang et al., 2019).

4. Leaf-Wise Growth Strategy: LightGBM uses a leaf-based growth strategy instead of the traditional level-based growth (Yang et al., 2021). This allows more complex patterns to be captured and generally provides higher accuracy:

$$BestLeaf = \underset{l}{\operatorname{argmax}} Gain(l) \quad (6)$$

The leaf-based strategy ensures that the leaf with the highest gain is expanded at each iteration. LightGBM also supports parallel processing, significantly reducing processing time when working with large-scale datasets (Gao and Balyan, 2022).

2.3. Evaluation Criteria

For validation, the dataset (training and test data set) should be separated. RMSE (Root Mean Square Error Squared) was used to evaluate the algorithms used in the datasets (Karaatlı et al., 2012). The mathematical formulation of the RMSE value is given in Equation (7).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2} \quad (7)$$

The mean model prediction error, expressed in units of the relevant variable, is known as the RMSE. The direction of the mistakes has no impact on this metric, which can also vary from 0 to ∞ . Lower values are therefore preferable. R-squared, the second metric, shows how much of the total variance can be accounted for by the model. R-squared is shown in Equation (8).

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{x}_i)^2} \quad (8)$$

where x_i shows the predicted value for the i th observation, y_i represents the observed value for the i th observation, $\bar{x}_i$ shows the average of predicted values, and n represents the number of observations (Nguyen et al., 2021). Models with higher R-squared values were more successful than those with lower R-squared values.

2.4. Implementation

In this section, firstly, information about the data set used in the study is given and then the pH value of water quality is estimated using Random Forest Regression and LightGBM algorithms from machine learning techniques.

2.5. Data Set

In this study used for water quality, the Kaggle platform, which contains various data sets in many fields, was utilized. This dataset consists of a total of 15000 data, including 10000 training and 5000 test data published in Kaggle under the name "waterdataset". The data set consists of pH, hardness, solids, chloramines, sulfate, conductivity, organic carbon, trihalomethanes and turbidity indicators. The data are defined as eight independent variables and one (pH) dependent variable (Kaggle, 2024).

2.6. Prediction of Water Quality's pH Value

In order for the variables in the study to be processed a certain way, the values were first normalized between 0.0 and 1.0. The normalized indicators were coded as independent and independent variables. Training (66.6%) and test sets (33.3%) of data were separated. The high-level programming language Python is used to present the algorithm outputs as RMSE and R-squared. The Random Forest Regression and LightGBM Regression methods were used in the analyses to estimate the pH value of the water quality.

pH (observed)	Random Forest	LightGBM
0.458	0.405	0.378
0.006	0.314	0.230
0.682	0.585	0.521
0.563	0.343	0.569
0.336	0.598	0.580
0.018	0.294	0.220
0.983	0.481	0.454
0.366	0.471	0.443
0.388	0.449	0.451
0.011	0.119	0.080

Table 1. shows 10 randomly selected normalized observed pH values and the predicted value obtained using Random Forest Regression and LightGBM algorithms.

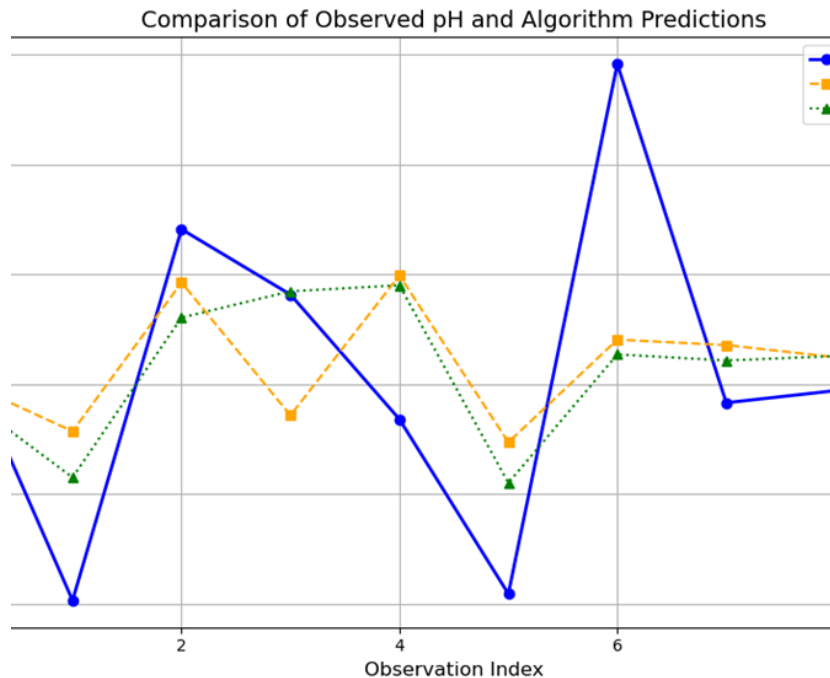


Figure 2. Comparison of algorithm results with randomly observed pH Value

The pH value observation and prediction results of the algorithms in Table 1 are visualized in Figure 1. In Figure 1, the blue line shows the observed values, while the green and yellow lines show the prediction

values of the pH value. Accordingly, it shows which algorithm predicts which indicator value more successfully on randomly selected data. Table 2 shows the error value of all test data (5000).

Table 2. Comparison of Error Values of Algorithms

	Random Forest	LightGBM
RMSE	0.233	0.207
R-squared	0.346	0.481

In Table 2, RMSE is 0.233, and R-squared is 0.346 for the prediction using Random Forest algorithm, while RMSE is 0.207, and R-squared is 0.481 for the prediction using LightGBM algorithm. Therefore, when the performance values of the algorithms are compared, it is seen that the LightGBM algorithm has more successful results. In Figure 3, the ROC curve compares the performances of the algorithms.

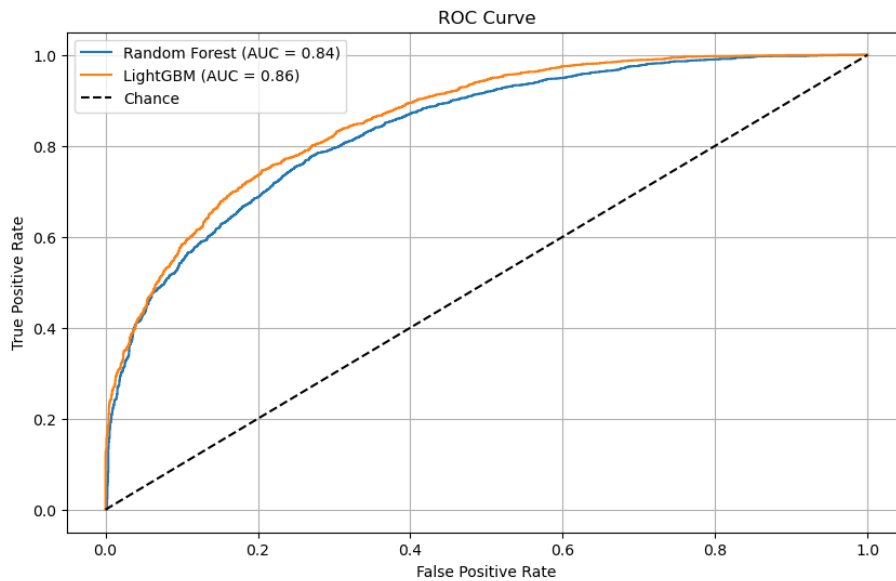


Figure 3. ROC Curve of Random Forest Regression and LightGBM Algorithms

Figure 3 shows the ROC curve of the performance of the algorithms when all data is analyzed. True Positive Rate (TPR) (Vertical Axis) refers to the rate at which the model correctly predicts true positives. These metric measures sensitivity. False Positive Rate (FPR) (Horizontal Axis) refers to the rate at which the model incorrectly predicts true negatives as positives. ROC Curve (colored lines): Visualizes the relationship between both metrics (TPR and FPR). The curve shows the performance of the algorithms at different thresholds. AUC (Area Under Curve), the area under the curve, numerically summarizes the overall performance of the algorithms. AUC expresses how much better a model is than a random guess. Chance (Dashed Line) represents the performance of a random forecast (FPR = TPR line). The AUC value of LightGBM is higher compared to Random Forest (0.86 > 0.84). This indicates that the LightGBM algorithm has better overall prediction performance and optimizes the data better.

3. Discussion

In this study, the analysis of different machine learning algorithms used for pH prediction is compared with the methods in the literature. In particular, the performance of Random Forest and LightGBM algorithms are compared with the models used in other studies and the differences and similarities are discussed.

Iyer et al. (2023) used SVM, Random Forest and Decision Tree algorithms to predict water quality. In this study, the superior performance of the Random Forest algorithm was particularly emphasized. Similarly, the Random Forest algorithm was used in this study and its effect on pH estimation was analyzed. However, this study evaluated the performance of the algorithms in more detail by comparing the Random Forest method with LightGBM. In addition, in the model of this study, ROC analysis of the models was performed using metrics such as AUC, which provided a more comprehensive performance evaluation.

In the study by Stackelberg et al. (2021) pH predictions were made using the Boosted Regression Tree (BRT) method. The study specifically analyzed the impact of hydrogeological factors on model performance. In this study, such detailed hydrogeological factors were not included, but pH prediction performance was optimized with the LightGBM algorithm. In contrast to Stackelberg, the model of this study uses the Kaggle dataset and conducts analyses based on a broader data base. This difference reflects the diversity of the purpose and approach of the two studies.

Tziachris et al. (2020) compared machine learning models and hybrid geostatistical methods in pH prediction. The study showed that Gradient Boosting and Random Forest algorithms were prominent. Similarly, Random Forest and LightGBM algorithms were compared in this study. However, this study does not include geostatistical methods and only compares machine learning algorithms. In this respect, the two studies emphasize different methodological approaches.

The study by Koranga et al. (2022) evaluated eight regression and nine classification algorithms for predicting water quality in Nanital Lake. The study emphasized that Random Forest and SVM were effective. Our study, on the other hand, focused specifically on Random Forest and LightGBM algorithms. In addition, the performance advantage of the LightGBM algorithm on high-dimensional datasets is discussed in detail in this study. While Koranga's work presents a wider range of algorithms, this study focuses on an in-depth comparison of the two algorithms.

4. Conclusion

This study demonstrated the effectiveness of Random Forest Regression and LightGBM algorithms for the prediction of pH, an important parameter in water quality assessment. Both algorithms were evaluated on a comprehensive dataset and LightGBM outperformed Random Forest in metrics such as RMSE and R-squared. These results show that LightGBM is a powerful and effective tool for working with large-scale and high-dimensional data, offering significant potential for real-time monitoring and management of water quality. Through the use of machine learning models, this research contributes to the literature on the application of advanced computational techniques in environmental monitoring.

In addition to the findings obtained in the study, combining different modeling techniques with the use of hybrid approaches can lead to higher accuracy rates. In particular, the integration of geostatistical methods and machine learning algorithms may allow for a more comprehensive assessment of environmental factors. Including additional environmental parameters such as temperature, precipitation and water flow rate in the dataset can improve pH prediction performance and improve the generalization capability of the model. The use of longer-term datasets would be useful to measure the performance of the algorithms in assessing seasonal variations and long-term trends. The advantages of the LightGBM algorithm, such as low memory usage and fast training time, can make a significant contribution to the development of systems that monitor water quality in real time. Furthermore, comparing other state-of-the-art algorithms, such as XGBoost or deep learning-based methods, with the models used in this study may provide an opportunity to evaluate the modeling performance in a broader perspective. In order to increase the generalizability of the study, it is recommended to conduct analyses on data sets from different water sources and to develop user-friendly software tools for public institutions and environmental experts in line with the findings obtained. Such applications can contribute to developing faster and more effective solutions to water quality problems.

5. Compliance with Ethical Standard

a) Authors' Contributions

Conflict of Initials of Author : Designed the study and collected and analyzed the data.

b) Conflict of Interest

The author(s) declare that there is no conflict of interest.

6. References

- Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine Learning*, 45(1), 5–32. <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>
- Elsenety, M. M., Mohamed, M. B. I., Sultan, M. E., & Elsayed, B. A. (2022). Facile and highly precise pH-value estimation using common pH paper based on machine learning techniques and supported mobile devices. *Scientific Reports*, 12(22584). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-27054-5>
- Ganapa, J. R., Choudari, S., & Rao, M. K. (2024). Gold price prediction using random forest regression. *Educational Administration: Theory and Practice*, 30(1), 1052–1055. <https://doi.org/10.53555/kuey.v30i1.5928>
- Gao, B., & Balyan, V. (2022). Construction of a financial default risk prediction model based on the LightGBM algorithm. *Journal of Intelligent Systems*, 31(767–779). <https://doi.org/10.1515/jisys-2022-0036>
- Iyer, S., Kaushik, S., & Nandal, P. (2023). Water quality prediction using machine learning. *Manav Rachna International Journal of Engineering and Technology*, 10(1), 59-68. <https://doi.org/10.58864/mrijet.2023.10.1.8>
- Kaggle, <https://www.kaggle.com/datasets/somasreemajumder/waterdataset>, (30.12.2024).
- Karaatlı, M., Helvacıoğlu, Ö. C., Ömürbek, N., & Tokgöz, G. (2012). Yapay sınır ağları yöntemi ile otomobil satış tahmini. *Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi*, 8(17), 87-100.
- Koranga, M., et al. (2022). Machine learning algorithms for water quality prediction for Nanital Lake, Uttarakhand. *International Journal of Advanced Research*, 10(2), 103-114.
- Li, Y., Zou, C., Berecibar, M., Nanini-Maury, E., Chand, J. C.-W., van den Bossche, P., Van Mierlo, J., & Omar, N. (2018). Random forest regression for online capacity estimation of lithium-ion batteries. *Applied Energy*, 232, 197–210. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.09.182>
- Liang, Y., Wu, J., Wang, W., Cao, Y., Zhong, B., & Chen, Z. (2019). Product marketing prediction based on XGBoost and LightGBM algorithm. *AIPR 2019, ACM*. <https://doi.org/10.1145/3357254.3357290>
- Meybeck, M., Peters, N. E., & Chapman, D. V. (2006). Water quality. *Encyclopedia of hydrological sciences*.
- Nayak, B., & Panda, P. K. (2024). A Comprehensive Review of Water Quality Analysis. *International Journal of Image and Graphics*, 2650033.
- Nguyen, X. C., Nguyen, T. T. H., La, D. D., Kumar, G., Rene, E. R., Nguyen, D. D., ... & Nguyen, V. K. (2021). Development of machine learning-based models to forecast solid waste generation in residential areas: A case study from Vietnam. *Resources, Conservation and Recycling*, 167, 105381.
- Omer, N. H. (2019). Water quality parameters. *Water quality-science, assessments and policy*, 18, 1-34.
- Rogers III, O. N., & Ambili, P. S. (2024). Water Quality Prediction with Machine Learning Algorithms. *EPRA International Journal of Multidisciplinary Research (IJMR)*, 10(4), 82-86.
- Segal, M. R. (2003). Machine learning benchmarks and random forest regression. Biostatistics Division, University of California, San Francisco.
- Song, J., Liu, G., Jiang, J., Zhang, P., & Liang, Y. (2021). Prediction of protein–ATP binding residues based on ensemble of deep convolutional neural networks and LightGBM algorithm. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(939). <https://doi.org/10.3390/ijms22020939>
- Stackelberg, P. E., Belitz, K., Brown, C. J., Erickson, M. L., Elliott, S. M., Kauffman, L. J., Ransom, K. M., & Reddy, J. E. (2021). Machine learning predictions of pH in the glacial aquifer system, northern USA. *Groundwater*, 59(3), 352-368. <https://doi.org/10.1111/gwat.13063>
- Tziachris, P., Aschonitis, V., Chatzistathis, T., Papadopoulou, M., & Doukas, I. D. (2020). Comparing machine learning models and hybrid geostatistical methods using environmental and soil covariates for soil pH prediction. *International Journal of Geo-Information*, 9(4), 276. <https://doi.org/10.3390/ijgi9040276>.
- Yang, Y., Wu, Y., Wang, P., & Xu, J. (2021). Stock price prediction based on XGBoost and LightGBM. *E3S Web of Conferences*, 275 (01040). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20212750104>

Elma Posasına Farklı Oranlarda Fiğ Tohumu İlavesinin Silaj Kalitesi, Yem Değeri ve Rumen Fermantasyon Parametreleri Üzerine Etkisi

Şeyma Çilo¹ , Hatice Kaya^{1*} 

Özet: Bu çalışma, gruplar arasında kuru madde içeriği buğday samanı ile eşitlenerek hazırlanan elma posası silajlarına, farklı oranlarda fiğ tohumu (%3, 6 ve 9) ilavesinin; silaj kalitesi, yem değeri ve rumen fermantasyon parametreleri üzerine etkisini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Çalışmada, *in vitro* gaz üretim tekniği ve Ankom Daisy *in vitro* fermantasyon sistemi kullanılmıştır. Denemede elma posası (kontrol grubu), elma posası+ %10 buğday samanı, elma posası+ %7 buğday samanı+ %3 fiğ, elma posası+ %4 buğday samanı+ %6 fiğ, elma posası+ %1 buğday samanı+ %9 fiğ ilave edilerek 5 silaj grubu oluşturulmuştur. Her bir silaj grubu 4 tekerrür olacak şekilde torbalarda vakumlanıp fermantasyon için 60 gün bekletilmiştir. Fermantasyon sonrası açılan silaj numunelerinde yapılan analizlerde NH₃, fleig puanı, NDF, ADF, gaz üretimi, gerçek sindirilebilir kuru madde, gerçek sindirim derecesi, metabolik enerji, net enerji laktasyon, organik madde sindirim derecesi, kuru madde sindirilebilirliği, nispi yem değeri, nispi yem kalitesi, taksimat faktörü, mikrobiyal kazanım, mikrobiyal protein sentezleme etkinliği ve bireysel uçucu yağ asitlerinden asetik asit ile propiyonik asit değerlerinin önemli düzeyde etkilendiği belirlenmiştir (P<0.05). Gruplara ait pH, ham yağ, metan üretimi ve metan yüzdesi parametrelerinin muameleden etkilenmediği tespit edilmiştir. Sonuç olarak, meyve sanayi işleme yan ürünü olan elma posasının kuru madde içeriği buğday samanı ile artırılıp farklı oranlarda fiğ tohumu ilave edilmesi ile oluşturulan silajlarda kalitenin arttığı ve *in vitro* sindirim değerlerinde olumlu etkiler sağladığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Elma posası, fiğ tohumu, *in vitro* gaz, silaj, yem değeri

The Effects of Adding Different Levels of Vetch Seed to Apple Pomace Silages on Silage Quality, Feed Value and Rumen Fermentation Parameters

Abstract: This study was conducted to determine the effects of adding different levels of vetch seed (3%, 6%, and 9%) to apple pomace silages, which were prepared by equalizing the dry matter content with wheat straw, on silage quality, feed value, and rumen fermentation parameters. The *in vitro* gas production technique and Ankom Daisy *in vitro* fermentation system were used in the study. In the experiment, five silage groups were formed by adding apple pomace (control group), apple pomace + 10% wheat straw, apple pomace + 7% wheat straw + 3% vetch, apple pomace + 4% wheat straw + 6% vetch, and apple pomace + 1% wheat straw + 9% vetch. Each silage group was vacuum sealed in bags and fermented for 60 days. Analysis of the silage samples after fermentation revealed that NH₃, Fleig score, NDF, ADF, gas production, true digestible dry matter, true digestibility, metabolic energy, net energy lactation, organic matter digestibility, dry matter digestibility, relative feed value, relative feed quality, partitioning factor, microbial gain, microbial protein synthesis efficiency, and individual volatile fatty acids, such as acetic acid and propionic acid, were significantly affected (P<0.05). It was also found that pH, crude fat, methane production, and methane percentage were not influenced by the treatments. As a result, it has been determined that the quality of silages created by increasing the dry matter content of apple pomace, which is a by-product of fruit industry processing, with wheat straw and adding vetch seeds at different rates, increases and provides positive effects on *in vitro* digestion values.

Keywords: Apple pulp, vetch seed, *in vitro* gas, silage, feed value

Makale Bilgisi (Araştırma)

1 Atatürk Üniversitesi, Ziraat
Fakültesi, Zootekni Bölümü
Erzurum / Türkiye

*Sorumlu yazar:

hkaraca@atauni.edu.tr

Alıntı: Çilo, Ş. & Kaya, H. (2025), Elma
Posasına Farklı Oranlarda Fiğ Tohumu
İlavesinin Silaj Kalitesi, Yem Değeri ve
Rumen Fermantasyon Parametreleri
Üzerine Etkisi, Memba Su Bilimleri Dergisi
11 (1), 50-61

<https://doi.org/10.58626/memba.1667351>

Başvuru Tarihi: 3 Şubat 2025

Kabul Tarihi: 25 Mart 2025

Yayın Tarihi: 28 Mart 2025

1. Giriş

Ruminant hayvan beslemede kaliteli ve ucuz kaba yemler kullanmak işletme karlılığını artırdığı, hayvan sağlığını olumlu etkilediği ifade edilmesine rağmen mevcut kaynaklar dikkate alındığında Türkiye’de önemli miktarda kaliteli kaba yem açığı olduğu bildirilmektedir (TAGEM, 2022, Kaya vd., 2022). Ülkemizde 2024 yılı haziran ayında 16 milyon 555 bin büyükbaş, 53 milyon 965 bin küçükbaş, toplamda 70 milyon 519 bin 688 baş hayvan varlığı bulunmaktadır (TÜİK, 2024 a). Türkiye’de 2024 yılı tahmini kaba yem üretimi 80.8 milyon ton, ihtiyaç 108,7 milyon ton olduğu toplam kaba yemin ihtiyacı %74.8 oranında karşıladığı rapor edilmiştir (TAGEM, 2022). Ülkemizdeki kaba yem yetersizliğinden dolayı araştırmacılar, yem üreticileri ve hayvan yetiştiricileri alternatif olabilecek yem kaynaklarını araştırmaya yönelmişlerdir. Ekonomik hayvan yetiştiriciliği için kullanılan yem kaynaklarının miktarı ve kalitesinin artırılmasına ilave olarak daha ucuz alternatif olabilecek olanların kullanımı önemli olmasının yanında atık kaynaklı çevresel kirliliğinin önlenmesi bakımından değerlidir. Bu durum elma posasının da içinde bulunduğu meyve işleme sanayii yan ürünlerinin üretim potansiyeli ve yem değeri açısından alternatif yem kaynakları olarak değerlendirilebileceğini ortaya koymaktadır.

TÜİK verilerine göre Türkiye’de 2024 yılında 4.4 milyon ton elma üretimi gerçekleşmiştir (TÜİK, 2024b). Elma posası, elma suyu üretimi işleminde yan ürün olarak açığa çıkmakta ve atıkların %25-35’ini oluşturmaktadır. Elma posasının bileşimi, üretimde kullanılan elmanın çeşidine ve işleme aşamasında kullanılan preslemenin niteliğine ve tekrarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Sülük vd., 2018). Elma posası kabuk, çekirdek, tohum, çanak yaprak, saptan ve yumuşak dokudan oluşmakta, bileşiminde basit şekerler, az miktarlarda mineraller, proteinler, vitaminler, hemiselüloz, selüloz, lignin ve fenolik bileşikler bulunmaktadır (Sülük vd., 2018). Yapılan çalışmalarda, elma posasının %14.57 kuru madde, %0.42 ham kül, %1.04 ham protein, %3.65 ham yağ, %33.35 ham selüloz, %14.15 organik madde, % 25.20 ADF, % 30.10 NDF içerdiği bildirilmektedir (Yalçinkaya vd., 2012; Gemalmaz ve Tanay 2016).

Meyve suyu işletmelerinden yıl içerisinde çok fazla elma posası ortaya çıkmakta ve çevre kirliliğine yol açmaktadır. Hayvan beslemede yem olarak değerlendirilmesinde daha uzun süre muhafaza etmek posanın silolanmasını ya da dehidrasyonunu gerektirmektedir (Kengoo vd., 2023).

Silaj, su içeriği yüksek olan yemlerin bir miktar kurutma (soldurma) işleminden sonra havasız ortamda laktik asit (süt asidi) bakterilerine maruz bırakılarak meydana gelen, ruminant hayvan beslemede önem arz eden fermente kaba yem kaynağıdır (Ünal vd., 2024). Silaj çalışmalarında genellikle fermentasyon sürecine yardımcı olmak amacıyla, besin ve enerji geri kazanımını iyileştirmek için üre, buğday samanı, kuru ot, kurutulmuş peynir suyu, öğütülmüş mısır, melas gibi çeşitli silo katkı maddeleri kullanılmaktadır (Yalçinkaya vd., 2012, Yitbarek ve Tamir 2014). Silaj materyalinin KM oranını artırmak için saman gibi kuru madde (KM) oranı yüksek olan başka yem materyali ilavesi yapılabilir. Ancak samanın protein oranının düşük olması ve lignin gibi sindirimi olumsuz yapılar içermesi silajın besin değerini düşüreceğinden besin değeri yüksek yem materyalleri ilave edilerek silaj kalitesi artırılabilir (Pirmohammadi vd., 2006).

Yapılan silaj çalışmalarında, ruminant hayvanların protein olmayan nitrojen (NPN) tabiatındaki ürünleri protein kaynağı olarak kullanabilme özelliklerinden dolayı yem bitkilerinin ham protein içeriklerini artırmada silo katkı maddesi olarak üre, nitrat gibi NPN kaynakları kullanıldığı ifade edilmektedir (Canbolat vd., 2014; Gürsoy vd., 2022; Gürsoy vd., 2023). Üre silajın ham protein içeriğini artırmak için kullanılan katkı maddesidir. Çok güçlü alkali özelliğe sahip olan üre silolanan ürünün pH’sını hemen 8-9 düzeyine çıkarır ve fermentasyon açısından istenmeyen bir durum oluşturur. Üre katılmış materyallerde pH düşüşü için daha fazla asit üretimine ihtiyaç duyulacağından KM kayıplarının artacağı ve beklenen faydaların görülemeyeceği ifade edilmektedir (Keleş, 2017). Ürenin en önemli dezavantajı silajda olması istenen laktik asit bakteri sayısını düşürmesi ve böylece fermentasyon başlamasını geciktirmesidir (Yitbarek ve Tamir, 2014). Ürenin toksitesinin olmaması için silolanan her bir ton taze ürüne yaklaşık 2-3 kg üre katılması ve sulandırılarak homojen şekilde ilavesi ifade edilmektedir (Filya, 2000). Sulandırma işleminde silo yeminin kuru madde içeriği düşme riski oluşur. Ayrıca homojen karıştırma yapılmaz ise veya nemi yüksek ürünlere katılırsa silaj tabanında üre birikmesi görülür. Üre oranının fazla olduğu bu kısımlardan tüketen hayvanlarda zehirlenmelere sebep olur (Filya, 2000). NPN’li bileşiklerin silolanan bitkilerin KM, NDF ve ADF sindirilebilirliğini artırırken, ruminantların canlı ağırlık kazancı, süt verimi ve yemden yararlanma düzeyi gibi önemli performans kriterlerini artırmadığı ifade edilmiştir (Filya, 2000). Elma posası silajı protein içeriğini artırmak amacıyla üre yerine fiğ tohumu katkı maddesi olarak kullanımı ile yukarıda ifade edilen risklerin bertaraf edilmesi sağlanabilir.

Fiğ yüksek ot verimi ve besin değeri nedeniyle kaba yem olarak kullanıldığı gibi içerdiği yüksek seviyede protein nedeniyle kesif yem amacı ile de yetiştirilmektedir (URL, 2024). Yapılan bir çalışmada fiğ tohumunun % kuru madde, ham kül, ham yağ, ham protein, NDF ve ADF değerleri sırasıyla 89.50, 2.69, 3.29, 25.41 ve 19.74 olarak rapor edilmiştir (Işık ve Kaya 2020). Elma posasının protein içeriğini artırmak amacıyla üre katkı maddesi kullanılmış çalışmalar yapılmış olmasına rağmen aynı amaçla fiğ tohumu ilave edilerek elde edilen silajların kalite, yem değeri ve in vitro sindirilebilirlik üzerine yürütülmüş çalışmalara rastlanmamıştır.

Bu çalışma, kuru madde içeriği buğday samanı ile eşitlenerek (yaklaşık %33) hazırlanan elma posası silajlarına, farklı oranlarda fiğ tohumu (%3, 6 ve 9) ilavesinin; silaj kalitesi, yem değeri, in vitro sindirilebilirlik, gaz ve metan üretimini tespit etmek amacıyla yapılmıştır.

2. Materyal ve Metod

Araştırmanın yem materyalini oluşturan elma posası Isparta ilinde bulunan özel bir fabrikadan (Eyüp Ülperen Yaş Meyve Ticareti), fiğ tohumu ve saman ise piyasadan temin edilmiştir. Silajların fiziksel ve kimyasal analizleri için Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootečni Bölümü yem laboratuvarındaki imkânlardan yararlanılmıştır. Fabrikadan temin edilerek laboratuvara getirilen elma posası kuru madde (KM) düzeyi yaklaşık %33 olacak şekilde buğday samanı ile eşitlenmiş KM esasına göre farklı oranlarda (%3, 6, 9) fiğ tohumu ilave edilerek silajlar yapılmıştır. Toplam 5 farklı silaj deneme grubu; elma posası (kontrol grubu (E0)), elma posası+ %10 buğday samanı (E1), elma posası+ %7 buğday samanı+ %3 fiğ (E2), elma posası+ %4 buğday samanı+ %6 fiğ (E3), elma posası+ %1 buğday samanı+ %9 fiğ (E4) şeklinde oluşturulmuştur. Her gruptan 4 tekerrür olacak şekilde hazırlanan karışımlar el yardımı ile silaj poşetlerine (25x35 cm) doldurulmuş ve silaj örnekleri vakum makinesi (Lavion DZ-100SS, Xiamen Yeasincere Industrial Corporation, China) kullanılarak tamamen havasız bir ortam elde edilinceye kadar vakumlanarak laboratuvar ortamında (yaklaşık 25±2 °C) 60 günlük fermentasyon için bekletilmiştir.

Denemede kullanılacak olan rumen sıvısı, Erzurum Et ve Süt Kurumu kesimhanesinde 3 yaşından büyük, üç büyükbaş hayvandan, hayvanlar kesilir kesilmez Kılıç ve Abdiwali (2016)'nin bildirdiği yöntemle göre ağız vidalı kapaklı cam şişeye alınmış, içinde yaklaşık 39°C'de su bulunan kapaklı termos konteyner ile Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootečni Bölümü Yem Analiz Laboratuvarı'na getirilmiş, CO₂ gazı altında dört katlı tülbentten süzülükten sonra in vitro gaz üretimi ve Daisy incubator tekniğinde kullanılmıştır.

Silolama süresinin 60. gününden sonra açılan silaj numunelerinde pH ve amonyak azotu (NH₃-N) içerikleri belirlendikten sonra 48 saat süreyle 65°C' de kurutma dolabında kurutulmuş ve 1mm elek çapı olan değirmende öğütülmüştür. Öğütülen silaj numunelerinde KM, ham protein (HP), ham yağ (HY) ve ham kül (HK) analizleri AOAC (1990)'nin bildirdiği metoda göre, ham selüloz (HS) analizleri Crampton ve Maynard (1938)'in bildirdikleri yöntemle göre, nötr deterjan lif (NDF) ve asit deterjan lif (ADF) analizleri ise Van Soest vd. (1991)'nin bildirdiği metoda göre ANKOM 200 Fiber Analyzer (ANKOM Technology Corp. Fairport, NY, USA) cihazı kullanılarak tayin edilmiştir.

Silajların pH analizleri için 90 ml saf su içerisinde 10 gr silaj yemi bekletilip süzülükten sonra süzöntüde elektronik 0.01 hassasiyette dijital göstergeli elektronik pH metre (Sartorius, Basic PB-20, Goettingen, Germany) ile ölçüm yapılmıştır. Silajların NH₃-N içeriği kjeldahl distilasyon ünitesinde (Gerhadth, Bonn, Germany) AOAC (2000)'ye göre belirlenmiştir. Silo yemi kalitesini belirlenmek için silo yemi pH ve kuru madde içeriği arasındaki ilişkiyi kullanarak silo yeminin kalite sınıfı, fleig puanı Kılıç (1986) tarafından bildirilen formüle göre hesaplanmıştır.

$$[\text{Fleig Puanı} = 220 + (2 \times \% \text{ Kuru madde} - 15) - 40 \times \text{pH}]$$

Yukarıda verilen formüle göre elde edilen fleig puanları, pekiyi (81-100), iyi (61-80), orta (41-60), düşük (21-40) kötü (0-20) aralığında sınıflandırılması yapılmıştır.

2.1. Silajların Nispi Yem Değeri, In vitro sindirilebilirlik ile Nispi Yem Kalitesinin Belirlenmesi

Yem ham maddelerinin nispi yem değeri (NYD) kaba yemin içerdiği NDF, ADF ve hayvan tarafından kaba yemin tüketim yeteneğiyle sağlanabileceği enerji değerinin tahminine dayanan bir metottur. NYD tam çiçek dönemindeki yonca kuru otunun %53 NDF ve %41 ADF içeriklerinden hesap edilen 100 değerini temel almaktadır (Rohweder vd., 1978). Silaj gruplarında kuru madde sindirimi (%KMS), kuru madde tüketimi (%KMT) ve NYD Ward ve Ondarza (2008) tarafından geliştirilen aşağıdaki eşitlikler yardımıyla saptanmıştır.

$$\%KMS = 88.9 - (0.779 \times \text{ADF} \% \text{ Kuru madde})$$

$$\text{KMT (CA \% 'si)} = 120 / (\text{NDF} \% \text{ Kuru madde})$$

$$\text{NYD} = \%KMS \times \%KMT / 1.29$$

"The Hay Marketing Task Force of the American Forage and Grassland Council" tarafından yapılan sınıflandırmaya göre NYD bakımından yemlerde: >151 (en kaliteli), 151-125 (1. sınıf), 124-103 (2. sınıf), 102-87 (3. sınıf), 86-75 (4. sınıf) <75 (5. sınıf) kaliteyi ifade etmektedir (Abdiwali ve Kılıç, 2018).

In vitro olarak kaba yemlerin nispi yem kalitesini (NYK) tespit etmek için Daisy incubatör cihazında, silaj örnekleri 48 saatlik fermentasyona tabi tutulmuş elde edilen sindirilebilirlik değerleri Ward ve Ondarza (2008) tarafından bildirilen aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanmış ve Marten vd. (1988) belirttiği skala dikkate alınarak değerlendirilmiştir.

$$\text{NYK} = (\text{Nisbi Yem Kalitesi}) = \text{KMT} \times \text{TSBM} / 1.23$$

$$\text{KMT (CA 'ın \% 'si olarak)} = -2.318 + (0.442 \times \text{HP}) - (0.01 \times \text{HP}^2) - (0.0638 \times \text{TSBM}) + (0.000922 \times \text{TSBM}^2) + (0.180 \times \text{ADF}) - (0.00196 \times \text{ADF}^2) - (0.00529 \times \text{HP} \times \text{ADF})$$

$$\text{TSBM} = (\text{NFC} \times 0.98) + (\text{HP} \times 0.93) + (\text{FA} \times 0.97 \times 2.25) + (\text{NDFn} \times \text{NDFS} / 100) - 10$$

$$\text{NFC} = \text{Lifsiz karbonhidrat (Kuru maddenin yüzdesi olarak)} = 100 - \text{NDFn} + \text{HP} + \text{HY} + \text{HK}$$

$$\text{FA} = \text{Yağ asitleri} = \text{Ham yağ} - 1$$

$$\text{NDFn} = \text{Azotsuz NDF} = \text{NDF} \times 0.93$$

$$\text{NDFDp} = 22.7 + .664 \times \text{NDFS}$$

$$\text{NDFS} \% = \text{NDF sindirilebilirliği (Daisy 48 saat)} = \text{NDFS} = 100 - (((\text{D2} - \text{D1}) / (\text{D3} - \text{D4}) \times 100)$$

(D1: F57 süzgeç torbalarının darası, D2: Ankom 200/220 selüloz tayin cihazında NDF solüsyonunda işlem görüp etüvde kuruyan örnek içeriği; D3: örneğin % NDF içeriği, D4: örneğin KM içeriği)

Yukarıdaki formüle göre Nispi yem kalite; >140 (çok iyi), 110-139 (iyi), 90-109 (orta), <75 (kötü) standartları

arasında sınıflandırılmıştır.

2.2. In Vitro Gaz Üretimi ve Gerçek Sindirim Derecelerinin Belirlenmesi

Deneme materyali yem örneklerine ait 24 saatlik gaz üretim miktarlarının ölçülmesinde in vitro gaz (İVG) üretim tekniği modifiye edilerek uygulanmıştır (Menke vd., 1979). Silaj örneklerinden 200 miligram silaj örnekleri 100 ml hacime sahip cam şırıngalar içerisinde 40 ml tampon çözelti içeren rumen sıvısı ile 39 °C sıcaklıktaki su banyosunda 24 saatlik inkübasyon işlemi için bekletilmiş (Menke vd., 1979) metan miktarı (%) İnfrared Metan Analiz cihazı ile (Sensor Europe GmbH, Erkrath, Germany) tayin edilmiştir. Toplam gaz üretimin okunmasının ardından enjektörler içindeki gaz plastik enjektör yardımı ile metan analizörüne alınarak, metan üretimi (ml) toplam gazın yüzdesi olarak, aşağıda bulunan formül ile elde edilmiştir (Goel vd., 2008).

Metan üretimi(ml) = toplam gaz üretimi(ml)* metanın yüzdesi (%)

Gazları alındıktan sonra şırıngada kalan yem örnekleri ve rumen sıvısı Van Soest vd. (1991) bildirildiği gibi hazırlanan NDF çözeltisi içerisinde 1 saat kadar kaynatılma işlemi yapılmıştır. Kaynama sonrası Blummel vd. (1997)'nin bildirdiği formüller ile gerçek sindirim değerleri ve mikrobiyal protein tespit edilmiştir.

GSD (gerçek sindirim değeri, %) = ((inkübe edilen KM (mg)-Kalan km (mg)) /inkübe edilen KM (mg))*100

GSKM (gerçek sindirilebilir kuru madde) (mg) = inkübe edilen KM (mg)- Kalan KM(mg)

TF (taksimat faktörü) = GSKM/GÜ (gaz üretimi)

MPÜ (mikrobiyal protein üretimi) = (GSKM-(2.2 * Gaz Üretimi))

MPSE= ((GSKM-(2.2*Gaz Üretimi)) / GSKM) * 100.

Deneme ve kontrol gruplarının organik madde sindirilebilirlik değerleri (OMS, %), Menke ve Steingass (1988)'in bildirdiğine göre aşağıda sunulan formül yardımıyla tespit edilmiştir.

OMS (%)= 14.88+0.889 GÜ + 0.45 HP + 0.65 HK

Yemlerin metabolik enerji (ME) ve net enerji laktasyon (NEL) değerleri, Menke ve Steingass (1988)'in bildirdiği aşağıda verilen formül yardımı ile hesaplanmıştır.

ME (MJ/kg KM) = 1,68 + 0.1418 x GÜ + 0.073 x HP + 0.0217 x HY-0,028*HK

NEL (MJ/kg KM) = -0,06+0,1047 x GÜ + 0.049 x HP + 0.0130 x HY-0,010 x HK

2.3. Rumen pH ve Rumen Amonyak (NH3) Azot Tayini

In vitro inkübasyon sonrası tampon çözelti içeren rumen sıvısı karışımından her muamele grubu için 4'er paralel örnek alınıp pH ölçümü yapılmıştır. pH ölçümünün ardından örnekler, amonyak azotu (NH3-N) analizi için Kjeldahl cihazındaki destilasyon ünitesine yerleştirilip Markham (1942)'nin bildirdiği gibi tayin edilmiştir.

2.4. Uçucu Yağ Asit Tayini

In vitro ortamda rumen sıvısı ile fermentasyon sonunda cam şırıngalardaki sıvıda asetik asit, bütirik asit ve probiyonik asit Wiedmeier vd. (1987)'nin yöntemine göre tayin edilmiştir. Inkübasyon sonunda cam şırıngalar içinde meydana gelen uçucu yağ asitlerini belirlemek için, rumen sıvıları 4 katlı tülbent ile süzölmüş ve edinilen süzükler, 50 ml'lik plastik falkon tüplerin içerisine alınıp 5 dakika 3000 rpm'de santrifüj edilmiştir. Santrifüj işleminin ardından elde edilen süzüğün üst kısmında biriken serumdan 10-20 ml alınarak polietilen santrifüj tüplerine aktarılmıştır. Sonrasında ise 1 ml %25'lik fosforik asit üzerlerine eklenmiştir. Tüplerin ağzı kapatılıp 4 0C'de 10-15 dakika 14.000 rpm'de santrifüj edilmiştir. Bu işlemin ardından üstte biriken sıvıdan, partikül gelmeyecek şekilde gaz kromatografi cihazına uygun 1,5 ml'lik cam vialler içerisine konup analizler yapılana kadar -20 0C'de depolanmıştır. Analiz edildiği dönemde örnekler derin dondurucudan çıkartılarak 20 dakika 10.000 rpm'de santrifüj edilerek çözündürülmüştür. Rumen sıvısında uçucu yağ asitleri Agilent 6890N marka gaz kromatografi cihazında, gereken kolon (Agilent Technologies 6890N gaz kromatografisi, Stabilwax-DA, 30m, 0.25 mm ID, 0.25 um df, Max. Temp:260 0C. Cat. 11023) ve program seçilerek tespit edilmiştir.

2.5. İstatistiksel Analiz

Elde edilen veriler SPSS 20 paket programında varyans analizine tabi tutulmuştur. Gruplara ait ortalamaların karşılaştırılmasında ise Duncan çoklu karşılaştırma testi (Duncan, 1955) kullanılmıştır.

3. Bulgular Ve Tartışma

Denemede silolama öncesi kullanılan yem materyallerinin besin madde içerikleri (kuru madde (KM), ham kül (HK), ham protein (HP), ham yağ (HY), asit deterjanda çözünmeyen lif (ADF), nötr deterjanda çözünmeyen lif (NDF), metabolik enerji (ME)) Çizelge 1'de sunulmuştur.

Çizelge 1. Silaj materyallerinin besin madde içerikleri (%)

Yem maddeleri	KM	HK	HP	HY	ADF	NDF
---------------	----	----	----	----	-----	-----

Elma posası	23.00	2.16	7.62	7.07	47.43	61.73
Buğday samanı	92.03	14.87	2.87	1.97	50.80	83.27
Fiğ tohumu	89.22	6.98	29.81	1.48	12.61	19.02

KM: kuru madde, HK: ham kül, HP: ham protein, HY: ham yağ ADF: asit çözücülerde çözünmeyen lifli bileşikler, NDF: nötr çözücülerde çözünmeyen lifli bileşikler, ME: metabolik enerji

Kuru madde içeriği buğday samanı ile eşitlenerek (yaklaşık %33) hazırlanan elma posası silajlarına, farklı oranlarda fiğ tohumu (% 3, 6 ve 9) ilavesi ile oluşturulan silaj gruplarına ait ortalama besin madde içerikleri ve varyans analiz sonuçları Çizelge 2' de verilmiştir.

Çizelge 2. Deneme Gruplarına Ait Ortalama besin madde içerikleri (KM'de %) ve varyans analiz sonuçları

Parametreler	E0	E1	E2	E3	E4	OSH	P
HK	1.50 ^c	2.12 ^{ab}	2.47 ^a	2.40 ^a	1.84 ^{bc}	0.48	0.007
HP	8.53 ^c	7.99 ^c	9.35 ^b	9.42 ^b	13.06 ^a	1.86	0.001
HY	0.87	0.81	0.85	0.82	0.86	0.07	0.767
ADF	39.51 ^a	39.46 ^a	38.12 ^b	36.73 ^c	35.03 ^d	1.83	0.001
NDF	52.86 ^b	54.27 ^a	52.15 ^b	51.92 ^b	49.42 ^c	1.73	0.001
HS	26.51 ^a	26.55 ^a	27.00 ^a	24.81 ^b	24.02 ^b	1.51	0.004

E0: elma posası (kontrol), E1: elma posası +%10buğday samanı, E2: elma posası+%7buğday samanı+%3 fiğ, E3: elma posası+%4 buğday samanı+%6fiğ, E4: elma posası+%1buğday samanı+%9fiğ, HK: ham kül, HP: ham protein, HY: ham yağ, ADF: asit çözücülerde çözünmeyen lifli bileşikler, NDF: nötr çözücülerde çözünmeyen lifli bileşikler, HS: ham selüloz, OSH: ortalamanın standart hatası, P: aynı sütunda farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki farklılıklar istatistiki açıdan önemlidir (p<0.05).

Deneme gruplarına ait yemlerin kimyasal kompozisyon değerlerinin istatistik analizinde HY hariç farklılıkların önemli olduğu tespit edilmiştir (p<0.01). Silajların HK ve HP içeriğinin katkı maddelerinin içeriğinden dolayı önemli düzeyde arttığı tespit edilmiştir (P<0.01). Deneme grupları arasında HP içeriği en yüksek elma posasına %9 fiğ tohumu ilave edilen E4 silaj grubunda (%13.06) bulunurken; en düşük elma posasına yalnızca buğday samanı ilave edilen E1 silaj grubunda (%7.99) olmuştur. Mevcut çalışmadan elde edilen sonuçlardan farklı olarak Kengoo vd. (2023)'nin %85 elma posası ve %15 buğday samanı ile yaptıkları silajın HP değerinin %6.52; Canbolat (2022)'nin %2.5 üre ilaveli elma posası silajının HP değerinin %11.29 olduğunu rapor etmişlerdir. Posalardaki besin madde farklılıklarının işletmeden işletmeye değişebileceği belirtilmiştir (Kaya, 2016). Mevcut çalışma ile diğer çalışma sonuçları arasındaki farklılıklar elma posasının farklı işletmelerden elde edilmesi ve değişik katkı maddelerinin ilavesinden kaynaklanmıştır.

Kuru madde içeriği buğday samanı ile eşitlenen elma posası silajlarına, farklı oranlarda fiğ tohumu (% 3, 6 ve 9) ilavesinin ADF, NDF ve HS değerlerine etkisinin anlamlı olduğu tespit edilmiştir (p<0.01). En yüksek ADF ve NDF değerleri elma posasına %10 saman ilaveli E1 deneme grubunda (sırasıyla %39.51, 54.27) bulunması buğday samanının yüksek ADF, NDF içeriğine sahip olmasından kaynaklanabilir. Yemlerin kalitesi hakkında yorum yapmayı sağlayan asit deterjanda çözünmeyen lif (ADF) içeriği yüksek olan yemlerin daha düşük enerji ve sindirilebilirliğe sahip olduğu rapor edilmektedir (Kutlu 2008). Elma posasına fiğ tohumu ilavesiyle yapılan silajlarda NDF ve ADF değerlerinde meydana gelen azalma yemin sindirebilirlik derecesine olumlu yönde katkı sağladığını göstermektedir. Mevcut çalışmadaki elma posasının NDF ve ADF düzeyleri Kaya (2016)'nın yaptığı çalışma ile benzerlik göstermiştir. Mevcut çalışmada en düşük HS değeri E4 muamele grubunda (%24.02), en yüksek HS değeri %10 oranında buğday samanı bulunan E2 grubu (%27.00) ve istatistiksel olarak benzer olan katkısız elma posası silaj grubunda (E0) (%26.51) tespit edilmiştir. E2 grubunda saman ilavesi E0 grubunda ise posanın elma kabuğu, çekirdeği gibi unsurları içermesi HS içeriğini artırdığı düşünülmektedir.

Silaj gruplarının KM, pH, Fleig skoru ile NH₃ azotu içeriklerine ait ortalama değerler ve varyans analiz sonuçları Çizelge 3' te sunulmuştur. Yapılan analiz sonucuna göre elma posasına buğday samanı ve fiğ tohumu ilavesi ile oluşturulan silajların KM'si katkısız elma posası silajına göre yüksek olduğu tespit edilmiştir (p<0.01). Mevcut çalışmadan elde edilen değerler %50 şeker pancarı yaprağı ve %50 elma posası ile yapılan silaj denemesinden yüksek (Ülger vd., 2015), elma posası, saman ve %0.1 üre ilaveli silaj denemesinden elde edilen değerlerden düşük (Yalçınkaya vd., 2012) olduğu görülmüştür.

Çizelge 3. Deneme gruplarına ait KM, pH, Fleig skoru ile NH₃ Azotu içeriklerine ait ortalama değerler ve varyans analiz sonuçları

Parametreler	E0	E1	E2	E3	E4	OSH	P
Kuru Madde(%)	20.01 ^b	27.65 ^a	28.59 ^a	28.68 ^a	28.57 ^a	0.39	0.001
NH₃ Azotu	0.35 ^{ab}	0.38 ^a	0.34 ^{ab}	0.36 ^a	0.29 ^b	0.47	0.048
pH	3.99	4.02	4.08	4.09	4.13	0.03	0.077
Fleig Skoru	85.54 ^b	99.60 ^a	99.08 ^a	97.46 ^a	98.43 ^a	1.66	0.001

E0: elma posası kontrol, E1: elma posası +%10 buğday samanı, E2: elma posası+%7 buğday samanı+%3 fiğ, E3: elma posası+%4 buğday samanı+%6fiğ, E4: elma posası+%1buğday samanı+%9fiğ, OSH: ortalamanın standart hatası, P: aynı sütunda farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki farklılıklar istatistikî açıdan önemlidir (p<0.05).

NH₃ azotu değerleri bakımından deneme grupları arasındaki farklılıkların önemli olduğu tespit edilmiştir (p<0.01). Yemde bulunan proteinin parçalanması ile oluşan NH₃ azotu değerleri en düşük 0.29 ile E4 grubunda belirlenirken, en yüksek değer 0.38 ile E1 grubunda bulunmuştur. Mevcut değerler, fiğ yem bitkisine %2 ile %4 oranlarında ilave edilen şeftali posası, kayısı posası ve melas ilave edilen silajlarda (Gürsoy vd., 2024) elde edilen NH₃ değerlerinden düşük bulunmuştur. Kuru madde içeriği buğday samanı ile eşitlenerek hazırlanan elma posası silajlarına, farklı oranlarda fiğ tohumu ilavesi ile oluşturulan silaj gruplarına ait pH değerleri üzerine önemli etki yapmadığı tespit edilmiştir (P>0.05). Çizelge 3'te görüleceği gibi deneme silajlarının pH değerleri iyi bir silajda olması gereken değerler olan 3.8-4.2 arasında değişmektedir.

Silaj kalitesi belirlenmesinde kuru madde ve pH değerinden faydalanarak rakamsal olarak Flieg puanı (FP) şeklinde değerlendirme yapılabilir (Kılıç, 1986). Çizelge 3'de görüldüğü üzere gruplar arasında FP bakımından görülen farklılıkların önemli olduğu tespit edilmiştir (P<0.01). FP'ye göre silaj kalitesi değerlendirildiğinde bütün gruplar pekiyi sınıfına girdiği belirlenmiştir. En düşük FP değeri kontrol (E0) grubunda (85.54) görülmesine rağmen yüksek FP değerleri buğday samanı ve fiğ tohumu ilaveli gruplarda (E1, E2, E3, E4) sırasıyla 99.60, 99.08, 97.46, 98.43 olarak bulunmuştur. Elma posası silajına buğday samanı ve fiğ tonumu ilavesi silaj kuru madde içeriğini artırması FP değerini olumlu etkilediği belirlenmiştir. Mevcut çalışmada bulunan değerler Ülger vd. (2015) bildirdiği değerden (61.39) yüksek, yonca silajına %10 elma posası ilave edilerek yapılan silaj çalışmasından (Çiftçi vd., 2005) (96,92) ve Yörük vd., 2014'ün %30 KM içeren buğday samanı (BS) ve fiğ kırmısı (FK) ilaveli şeker pancarı silajından elde edilen değerlerle (BS:84.87; FK:84.91) benzer aralıkta olduğu tespit edilmiştir.

Deneme gruplarına ait 24 saatlik *in vitro* gaz ve metan üretim değerleri (gaz (ml), metan (ml, %)), metabolik enerji (MJ/kg, KM), net enerji laktasyon (MJ/kg, KM) ve organik madde sindirim derecesi (%) Çizelge 4'de verilmiştir.

Çizelge 4. Deneme Gruplarının 24 Saatlik *In Vitro* Gaz ve Metan Üretim Değerleri, Tahminlenen Parametrelerin Varyans Analiz Sonuçları

Parametreler	E0	E1	E2	E3	E4	OSH	P
Gaz(ml)	44.03 ^a	41.08 ^c	42.18 ^{bc}	43.47 ^{ab}	43.17 ^{ab}	0.53	0.009
Metan(ml)	4.93	4.79	4.96	5.03	5.81	0.39	0.406
Metan(%)	11.17	11.65	11.72	11.62	13.37	1.75	0.486
ME(Mj /kg KM)	8.66 ^{ab}	8.23 ^c	8.45 ^b	8.63 ^{ab}	8.84 ^a	0.24	0.001
NE_L(Mj /kg KM)	5.08 ^{ab}	4.78 ^c	4.94 ^b	5.06 ^{ab}	5.2 ^a	0.17	0.001
OMS	58.83 ^b	56.37 ^c	58.19 ^b	59.32 ^{ab}	60.59 ^a	1.68	0.001

E0: elma posası (kontrol), E1: elma posası +%10buğday samanı, E2: elma posası+%7buğday samanı+%3 fiğ, E3: elma posası+%4 buğday samanı+%6fiğ, E4: elma posası+%1buğday samanı+%9fiğ ME: metabolik enerji, NE_L: net enerji laktasyon, OMS: organik madde sindirimi, OSH: ortalamanın standart hatası, P: istatistikî önemlilik düzeyi a-d; aynı sütunda farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki farklılıklar istatistikî açıdan önemlidir (p<0.05).

Buğday samanı ile KM içeriği artırılan elma posası silajına fiğ tohumu ilavesi metan üretimi hariç incelenen diğer parametreleri (gaz üretimi, ME, NE_L ve OMS) önemli derecede etkilemiştir (P<0.01). *In vitro* gaz (IVG) üretim tekniği ile 24 saat fermentasyona tabi tutulan deneme gruplarında ölçülen gaz üretim değeri en fazla E0 (44.03ml) muamele grubunda en düşük gaz üretimi ise E1 (41.08 ml) muamele grubunda bulunmuştur. Yapılan bir çalışmada (Boğa vd., 2020) yem veya yem karışımların yapısındaki ADF ve NDF'nin gaz üretimi ile ilişkili olduğunu ve bu değerlerin düşmesinin gaz üretimini artıracaklarını belirtmişlerdir. Mirzaei-Aghsaghali vd. (2011) ise elma posasının besin değerini *in vitro* gaz üretim tekniğini kullanarak belirlemek

amacıyla yaptığı bir çalışmada yüksek gaz üretim oranını muhtemelen mikrobiyal popülasyonun karbonhidrat fraksiyonlarına kolayca ulaşılabilmesinden etkilendiğini saptamışlardır. Mevcut çalışmadan farklı olarak Kara vd. (2018) yaş esasa göre %100 nar posası, %100 elma posası ve %50 nar posası+ %50 elma posası karışımı olacak şekilde hazırladıkları silajların *in vitro* gaz, metan üretimi, organik madde sindirilebilirliği, ME ve NE_L değerlerini yalnızca elma posası silajında sırasıyla 32.44, 18.15, 41.52, 6.89 ve 3.29 olarak rapor etmişlerdir. Khatooni vd. (2014), 24 saatlik inkübasyonda %80 elma posası+%20 yonca küspesi karışımının *in vitro* gaz üretiminin 67,17 mL/0,2 g KM olarak gerçekleştiğini ifade etmişlerdir. Sunulan çalışmada deneme silajlarında katkı maddesi buğday samanı azaldıkça NDF ve ADF değerlerinin azaldığı (Çizelge 2) gaz üretim değerlerinin istatistiksel olarak arttığı (Çizelge 4) görülmektedir.

Yörük vd. (2014) buğday samanı, yonca samanı ve fiğ karıştırılarak KM düzeyleri %20, %25 ve %30'a çıkarılan şeker pancarı posası silajlarının bazı silaj kalite kriterleri ve rumende KM yıkılabilirliklerini naylon kese yöntemi ile inceledikleri çalışmalarında, mevcut deneme ile benzer olarak buğday samanlı gruplarda kuru madde yıkılabilirliğinin artan kuru madde düzeyleri ile ters orantılı olarak önemli derecede ($P<0.05$) azaldığını ifade etmişlerdir. Mevcut çalışmadan elde edilen değerler, elma posasına %2.5 üre ilave katkılı çalışmada (Canbolat, 2022) belirlenen gaz üretim değerleri (51.31ml) ve elma posasının besin değerini *in vitro* gaz üretim tekniğini kullanarak 24. saatlik gaz üretim değerlerinin belirlendiği çalışmada (Mirzaei-Aghsaghali vd., 2011) ölçülen gaz üretim değerlerinden (58.92 ml/0.2 g DM) düşük bulunmuştur. Kuru madde içeriği buğday samanı ile eşitlenerek hazırlanan elma posası silajlarına, farklı oranlarda fiğ tohumu (%3, 6 ve 9) ilavesi oluşturulan IVG üretim tekniği ile 24 saat fermentasyona tabi tutulan deneme gruplarında belirlenen metan üretimi ve metan payı önemli bulunmamıştır ($P>0.05$). Ruminant hayvanlar yaşama ve verim payı ihtiyaçları için gerekli olan enerji (ME, NE_L) ihtiyaçlarını günlük tükettikleri yem karışımlarından sağlamaktadırlar (Göncü ve Kaya 2024). Menke vd. (1979) 0.2 gr/ml'de fermentasyon sonucu oluşan 24 saatlik gaz değerinin, enerji dönüşüm formülüne ilave edilmesinin, yemlerin ME ve NE_L değerlerinin isabet derecesini artıracaklarını ifade etmişlerdir. Gaz üretim tekniği ile üretilen gaz miktarlarından faydalanarak hesaplanan ME, NE_L ve organik madde sindirim değeri (OMS) için en düşük değerler (sırasıyla 8.23 Mj/kg, 4.78 Mj/kg ve 56.37) E1 muamele grubunda, en yüksek (sırasıyla 8.84 Mj/kg, 5.2 Mj/kg ve 60.59) E4deneme grubunda tespit edilmiştir (Çizelge 4). Mevcut çalışmada ME ve NE_L parametrelerine ait değerler bazı çalışmadan elde edilen değerlerden yüksek (Ülger vd., 2015; Ünal vd., 2024) bazı denemelerden ise düşük (Mirzaei-Aghsaghali vd., 2011; Kara vd., 2018; Canbolat, 2022) olduğu belirlenmiştir. Sunulan çalışmada elma posasının OMS değeri Kara vd. (2018)'in yaptıkları çalışmada elde ettikleri değerden (41.52) yüksek olduğu tespit edilmiştir. Mevcut çalışmada elma posası silajlarının *in vitro* gaz ve metan üretimi ile tahminlenen parametre değerlerinin diğer çalışmalardan elde edilen değerlerden farklı olması posada uygulanan işlemler (meyve suyu, meyve konsantresi, etanol üretmek vb.), yapısal besin bileşimi, fermentasyonun süresi ve koşulları ile ilişkili olabilir.

In vitro tekniği, ruminant hayvanların beslenmesinde kullanılan yemlerin sindirim değerini laboratuvar şartlarında hesaplayabilmek için rumen ortamı taklit edilerek uygulanan bir yöntem olduğu ifade edilmektedir (Gürsoy vd., 2023). Elma posasına buğday samanı ve fiğ tohumu ilavesi ile oluşturulan silajların *in vitro* sindirim parametrelerine ait ortalama değerler ve varyans analiz sonuçları Çizelge 5'de sunulmuştur.

Çizelge 5. *In Vitro* Sindirim Parametrelerine Ait Ortalama Değerler ve Varyans Analiz Sonuçları

Parametreler	E0	E1	E2	E3	E4	OSH	P
GSKM(mg)	182.19 ^b	181.17 ^b	194.26 ^a	203.21 ^a	180.00 ^b	10.9	0.001
TF(mg/ml)	2.28 ^b	2.43 ^{ab}	2.54 ^a	2.58 ^a	2.29 ^b	0.15	0.002
MK(mg)	6.92 ^c	17.63 ^{bc}	26.32 ^{ab}	30.13 ^a	6.92 ^c	12.02	0.001
MPSE	3.77 ^b	9.70 ^a	13.41 ^a	14.73 ^a	3.76 ^b	5.78	0.001
GSD(%)	35.65 ^b	35.46 ^b	38.13 ^a	39.92 ^a	35.39 ^b	2.16	0.001

E0: elma posası (kontrol), E1: elma posası +%10buğday samanı, E2: elma posası+%7buğday samanı+%3 fiğ, E3: elma posası+%4 buğday samanı+%6fiğ, E4: elma posası+%1buğday samanı+%9fiğ, GSKM: Gerçek sindirilebilir kuru madde, TF: taksimat faktörü, MK: mikrobiyal kazanım, MPSE: mikrobiyal protein sentezleme etkinliği, GSD: gerçek sindirim derecesi, OSH: ortalamanın standart hatası, P: istatistikî önemlilik düzeyi a-d; aynı sütunda farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki farklılıklar istatistikî açıdan önemlidir ($p<0.05$).

Silaj gruplarına ait gerçek sindirilebilir kuru madde (GSKM), taksimat faktörü (TF), mikrobiyal kazanım (MK), mikrobiyal protein sentezleme etkinliği (MPSE) ve gerçek sindirim derecesi (GSD) değerlerinin muameleden etkilendiği tespit edilmiştir ($P<0.01$). İncelenen parametreler bakımından en yüksek değerler E3 ve E2 silaj gruplarında benzer olarak bulunurken E0, E1 ve E4 silaj grupları diğer gruplara göre daha düşük değerler göstermiş ve benzer olduğu tespit edilmiştir. TF değeri yüksek olan yemlerin mikrobiyal protein sentezleme etkinliğinin yüksek olduğu (Özkan vd., 2020) ifadesine uyumlu olarak sunulan çalışmada TF değeri yüksek olan yemlerin mikrobiyal protein sentezleme etkinliğinin yüksek olduğu görülmektedir. Mevcut çalışmada elde edilen GSKM, GSD, TF, MK ve MPSE değerleri, yem bitki karışımına %4,5 melas, gladiçya

ve keçiyoynuzu kırığı ilave edilerek yapılan silajlara ait değerlerden (Gürsoy vd., 2023) ve fiğ yem bitkisine %2 ile %4 oranlarında şeftali posası, kayısı posası ile melas ilave edilerek oluşturulan silajlara ait değerlerden (Gürsoy vd., 2024) düşük bulunmuştur. Çalışmalar arasındaki farklılıklar yem materyallerinden kaynaklanmış olabilir.

Silaj gruplarına ait ortalama kuru madde sindirimi (KMS), kuru madde tüketimi (KMT) ve nispi yem değeri (NYD) ile 48 saatlik Daisy sindirim parametrelerine (toplam sindirilebilir besin maddeleri (TSBM), NDF sindirimi (NDFS), nispi yem kalitesi (NYK)) ait ortalama değerler ve varyans analiz sonuçları Çizelge 6' da verilmiştir.

Çizelge 6. Deneme Gruplarının KMS, KMT ve NYD ile 48 saatlik Daisy Sindirim Parametrelerine Ait Ortalama Değerleri ve Varyans Analiz Sonuçları

Parametreler	E0	E1	E2	E3	E4	OSH	P
KMS (%)	58.11 ^c	58.15 ^c	59.19 ^b	60.28 ^a	61.60 ^a	1.42	0.001
KMT (CA %)	2.27 ^b	2.21 ^c	2.30 ^b	2.31 ^b	2.43 ^a	0.02	0.001
NYD	102.27 ^c	99.69 ^c	105.62 ^b	108.03 ^b	115.99 ^a	1.06	0.001
TSBM	60.28 ^{ab}	58.48 ^b	61.12 ^a	62.43 ^a	62.70 ^a	0.79	0.011
NDFS (%)	39.62 ^{ab}	32.68 ^c	37.96 ^b	41.15 ^a	39.76 ^{ab}	0.81	0.001
NYK	122.50 ^{cd}	113.51 ^d	129.74 ^{bc}	137.23 ^{ab}	145.55 ^a	3.87	0.001

E0: elma posası (kontrol), E1: elma posası +%10 buğday samanı, E2: elma posası+%7 buğday samanı+%3 fiğ, E3: elma posası+%4 buğday samanı+%6 fiğ, E4: elma posası+%1 buğday samanı+%9 fiğ, KMS: kuru madde sindirimi, KMT: kuru madde tüketimi, NYD: nispi yem değeri, TSBM: toplam sindirilen besin madde, NDFS: NDF sindirimi, NYK: nispi yem kalitesi, OSH: ortalamanın standart hatası, P: istatistikî önemlilik düzeyi a-d; aynı sütunda farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki farklılıklar istatistikî açıdan önemlidir (p<0.05).

Deneme gruplarından elde edilen KMS, KMT, NYD, TSBM, NDFS ve NYK değerlerinin muameleden etkilendiği tespit edilmiştir (P<0.01). Yalnızca elma posası (E0) ve elma posası + %10 buğday samanı (E1) ilaveli gruplarda KMS değerleri benzer etki gösterirken, elma posasına buğday samanı yerine artan seviyelerde fiğ tohumu ilavesi ile oluşturulan deneme gruplarında (E2, E3, E4) KMS değerinin seviye ile birlikte arttığı belirlenmiştir (Çizelge 6). KMT değeri en yüksek %2.43 ile E4 muamele grubunda elde edilirken, en düşük %2.21 ile E1 muamele grubunda bulunmuştur (P<0.01). Mevcut çalışmada E1 muamele grubundan elde edilen KMT değerleri, havuç posası+buğday samanı ile oluşturulan silaj çalışmasından (Kandemir, 2022) elde edilen değerlerle paralellik göstermiştir. NYD değeri arttıkça silajın kalite seviyesi de artmaktadır. En yüksek NYD değeri 115,99 ile E4 muamele grubunda bulunurken en düşük NYD değeri 99.69 ile E1 muamele grubunda bulunmuştur. NYD hesaplanırken protein içeriği göz önüne alınmaz fakat daha yüksek NYD değerleri genelde daha yüksek protein içeriği ile alakalı olduğu ifade edilmektedir (Stallings, 2006). Mevcut çalışma Stallings (2006)'nın ifadesini doğrular niteliktedir. Mevcut çalışmada E1 muamele grubundaki NYD değeri Kandemir (2022)'in yaptığı havuç posası+buğday samanı ile oluşturulan silaj deneme grubundan elde edilen değer (100.77) ile benzer, diğer muamele gruplarının NYD değerleri ise Havuç Posası+Fiğ+Yulaf Kuru Otu Silaj gruplarından elde edilen değerden (154.15) düşük bulunmuştur. Bu çalışmada Rohweder vd. (1978) tarafından geliştirilen, kalite standartları cetveli kullanılarak NYD bakımından kalite sınıfı değerlendirildiğinde E2, E3, E4 muamele grupları 2. kalite sınıfında yer aldığı E0 ve E1 silaj gruplarının ise 3. kalite sınıfında bulunduğu tespit edilmiştir. NYD hesaplanırken NDF ve ADF analiz değerleri temel alınmakta ve yemlerin NDFS (NDF sindirimi) belirlenmemektedir. Bu sebeplerden dolayı, kaba yemlerin kalitesini belirlenmesinde kullanılan NYD yetersiz kalmaktadır. Bu durumda kaba yem tüketimini tahmin etmek için geliştirilen NYK kaba yemlerin kalitesi hakkında önemli bilgiler vermektedir (Elfaki, 2024). Kaba yemlerin kalitesini test etmek üzere geliştirilen NYK, NYD' ye benzer olarak kabul edilmekte ancak hesaplamada KMS yerine TSBM kullanmakta ve sindirilebilir selülozu içermekte ayrıca hayvan performansını daha fazla temsil ettiği ifade edilmektedir (Elfaki, 2024). NDF sindirilebilirliği, yemdeki enerjinin daha kesin bir tahminini sağlar ve birçok laboratuvar lif sindirimini dikkate almak için *in vitro* NDF sindirilebilirliğini kullanmaktadır (Stallings, 2006). En yüksek NYK değeri E4 (145.55) muamele grubu, en düşük E1 (113.51) muamele grubunda bulunmuştur. Mevcut çalışmadan elde edilen veriler, Marten vd. (1988) ve NRC (2001) tarafından bildirilen eşitlik ve skala kullanılarak değerlendirildiğinde E4 muamele grubu çok iyi kalitede E0, E1, E2 ve E3 muamele grupları iyi kalitede olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmadaki NYK değerleri hasat sonrası arta kalan domates bitkisine saman, melas, üre+melas, arpa ve mikrobiyal inokülant ilavesi yapılan silaj çalışmasından (Elfaki, 2024) elde edilen değerlerden (165.07) düşük olduğu tespit edilmiştir. Kaba yemlerde NDFS, rasyonun enerji değeri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Nitekim, artan NDF sindirilebilirliklerinin, kaba yemlerin enerji değerini yükselttiği rapor edilmektedir (Elfaki, 2024). Sunulan çalışmada elde edilen değerler bazı araştırmalardan elde edilen değerlerden düşük (Köksal, 2020; Hassan, 2023) veya yüksek (Keklikçi, 2017) bulunmuştur. Kuru madde içeriği buğday samanı ile eşitlenerek hazırlanan elma posası silajlarına, farklı oranlarda fiğ tohumu

(%3, 6 ve 9) ilavesi ile oluşturulan silaj gruplarında gerek TSBM gerekse NYK değerleri silaj materyaline fiğ katılması ile arttığı tespit edilmiştir. Bu artış yem materyalindeki lifli bileşenlerin sindirilebilirlik derecelerinin artması ile ilişkili olabilir.

Deneme gruplarına ait rumen pH'sı, bireysel uçucu yağ asidi (UYA) ile NH₃-N değerleri ve varyans analiz sonuçları Çizelge 7'de sunulmuştur. Silaj gruplarına ait rumen pH, asetik asit, probiyonik asit ve NH₃-N ortalama değerleri arasında önemli farklılıklar olduğu tespit edilmiştir (P<0.01). Asetik asit en yüksek kontrol grubunda (82.00); en düşük E4 (63.00) muamele grubunda gözlenmiştir. Probiyonik asit en yüksek kontrol grubunda (38.00) en düşük E4 muamele grubunda bulunmuştur. Bütirik asit istatistiksel olarak önemli olmadığı tespit edilmiştir (P>0.05). Rumen pH değeri en yüksek kontrol grubunda (5.18); en düşük E4(4.88) muamele grubunda bulunmuştur. Rumen NH₃-N değerleri incelendiğinde en düşük değer kontrol grubunda (797.00), en yüksek değer ise E4 muamele grubunda (935.66) elde edilmiştir. Artan fiğ oranına bağlı olarak rumen pH'sında azalma ve NH₃-N değerlerinde yükselme gözlemlenmiştir. Mevcut çalışmadan farklı olarak yapılan *in vitro* denemede (Kara vd., 2018) TMR'ye %10 ve 20 seviyelerinde elma posası silajı ilavesinin rumen pH değerlerini etkilenmediği ve sunulan çalışmadan daha yüksek değerler (%10: 6.68; %20: 6.77) gösterdiği rapor edilmiştir.

Çizelge 7. Deneme Gruplarına Ait Rumen pH'sı, Bireysel UYA ile NH₃-N Değerleri ve Varyans Analiz Sonuçları

Parametreler	E0	E1	E2	E3	E4	OSH	P
Rumen pH	5.18 ^a	5.11 ^b	5.08 ^b	5.10 ^b	4.88 ^c	0.013	0.001
Asetik asit (mmol/l)	82.00 ^a	67.00 ^b	65.00 ^b	63.00 ^b	63.00 ^b	1.63	0.001
Probiyonik asit (mmol/l)	38.00 ^a	34.00 ^a	26.00 ^b	25.00 ^b	23.00 ^b	1.77	0.001
Bütirik asit (mmol/l)	22.00	23.33	20.00	19.33	18.67	1.84	0.404
NH₃-N (mg/l)	797.00 ^c	813.33 ^c	855.33 ^b	872.66 ^b	935.66 ^a	12.88	0.001

E0: elma posası (kontrol), E1: elma posası +%10buğday samanı, E2: elma posası+%7 buğday samanı+%3 fiğ, E3: elma posası+%4 buğday samanı+%6fiğ, E4: elma posası+%1buğday samanı+%9fiğ, OSH: ortalamanın standart hatası, P: istatistikî önemlilik düzeyi a-d; aynı sütunda farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki farklılıklar istatistikî açıdan önemlidir (p<0.05).

4. Sonuç

Kuru madde içeriği buğday samanı ile eşitlenerek hazırlanan elma posası silajlarına, farklı oranlarda fiğ tohumu ilavesinin; silaj kalitesi, yem değeri, *in vitro* sindirilebilirlik, gaz ve metan üretimi üzerine etkisini belirlemek amacıyla yürütülen bu çalışmada, elma posasına fiğ tohumu ilavesinin silaj gruplarında ADF ve NDF içeriklerini azalttığı, HP, NYD ve NYK değerlerini ise iyileştirdiği saptanmıştır. Önemli bir silaj kalite göstergesi olan FP'ye göre değerlendirildiğinde fiğ tohumu ilaveli silaj gruplarının E0 grubuna göre yüksek puan aldığı ve pekiyi kategorisinde yer aldığı yine NYD bakımından kalite sınıfı değerlendirildiğinde E4 muamele grubunun 2. kalite sınıfında olduğu ayrıca en yüksek NYK değeri yine E4 silaj grubunda gözlenmiş ve kalite bakımından çok iyi sınıfında yer aldığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak özellikle meyve sanayi işleme yan ürünü olan elma posasına+%1 buğday samanı+%9 fiğ tohumu ilavesi ile oluşturulan silajların (E4) *in vitro* analizinde ruminantlar için kaliteli kaba yem kaynağı olabileceği ve çevre kirliliğinin önüne geçilebileceği kanaatine varılmıştır.

5. Teşekkür

Bu makale, yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

6. Etik Standartlara Uygunluk (Compliance with Ethical Standard)

a) Yazarların katkıları

HK: Çalışmayı tasarladı ve verileri yorumladı.

ŞÇ: Laboratuvar çalışmasını gerçekleştirdi.

HK ve ŞÇ: Laboratuvar çalışmasını gerçekleştirdi ve makaleyi hazırladı.

b) **Çıkar çatışması**

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan ettiler.

c) **Hayvanların refahına ilişkin beyan**

Bu çalışma Deney Hayvanları Yerel Etik Kurul Çalışma protokolünü kapsamamaktadır.

d) **İnsan hakları beyanı**

Bu çalışma insan katılımcıları kapsamamaktadır.

e) **Yapay zeka kullanmama beyanı**

Yazarlar, bu makalenin yazımında, görsellerin, grafiklerin, çizelgelerin ya da bunlara karşılık gelen başlıkların oluşturulmasında herhangi bir tür üretken yapay zekâ kullanmadıklarını beyan ederler.

7. Kaynakça

- Abdiwali, M. A. & Kılıç, Ü. (2018). Farklı Samanlarda Lignin Peroksidaz Enzimi Kullanımının Yem Değeri Üzerine Etkisi. KSÜ Tarım ve Doğa Derg 21(3), 374-384, DOI:10.18016/ ksudobil. 346585
- AOAC. (1990). Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists, Vol. II, 15th ed. Sec.985.29. The Association: Arlington, VA.
- AOAC. (2000). Official Methods of Analysis. 17th ed. 5th rev. Association of Official Analytical Chemists. 930-954. Arlington, VA, USA.
- Boğa, M., Kurt, O., Ozkan, C. O., Atalay, A. İ., & Kamalak, A. (2020). Evaluation of some commercial dairy rations in terms of chemical composition, methane production, net energy and organic matter digestibility. Progress in nutrition, 22(1), 199-203.
- Canbolat, Ö., Kamalak, A., & Kara, H. (2014). Nar posası silajına (*Punica granatum* L.) katılan ürenin silaj fermentasyonu, aerobik stabilite ve *in vitro* gaz üretimi üzerine etkisi. Veterinary Journal of Ankara University/Ankara Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi, 61(3).
- Canbolat, Ö. (2022). Effect of Supplementation of Urea on the Nutritive Value and Fermentation Characteristics of Apple Pulp Silages, Journal of Agricultural Sciences (Tarım Bilimleri Dergisi) 2022, 28 (3): 430 – 437
- Crampton, E. W., & Maynard, L. A. (1938). The relation of cellulose and lignin content to the nutritive value of animal feeds. the Journal of Nutrition, 15(4), 383-395.
- Çiftçi, M., Çerçi, H. İ., Dalkılıç, B., Güler, T., & Ertaş, O. N. (2005). Elmanın karbonhidrat kaynağı olarak yonca silajına katılma olanağının araştırılması. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi, 16(2), 93-98.
- Duncan D. B. (1955). Multiple Range and Multiple F Tests. Biometrics 11: 1-42.
- Elfaki, M.A. (2024). Domates hasat artıklarından yapılan silaj ve peletlerin yem değerinin *in vitro* yöntemlerle belirlenmesi. Doktora Tezi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun., Türkiye.
- Filya, İ. (2000). Silaj fermentasyonunda katkı maddeleri kullanımı. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 15 (3): 118-125
- Gemalmaz E. & Tanay B. (2016). Alternatif Kaba Yem Kaynakları, Derleme/Review Article. Lalahan Hay. Araşt. Enst. Derg. 2016, 56 (2) 63-69
- Goel, G., Makkar, H. P. S., & Becker, K. (2008). Changes in microbial community structure, methanogenesis and rumen fermentation in response to saponin-rich fractions from different plant materials. Journal of applied microbiology, 105(3), 770-777.
- Göncü, M., & Kaya, H. (2024). Zeytin yaprağının (*Folium olivae*) süt sığırları toplam rasyon karışımlarında (TMR) kuru çayır otu yerine ikame edilebilirliğinin *in vitro* gaz üretim tekniği ile belirlenmesi. Menba Kastamonu

Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Dergisi, 10(1), 106-114.

- Gürsoy, E., Kaya, A., Kaya, A., & Ayaşan, T. (2024). The effect of various additives to vetch forage silage on *in vitro* digestibility values and feed quality. South African Journal of Animal Science, 54(2), 236-243.
- Gürsoy, E., Sezmiş, G., & Kaya, A. (2022). Farklı Seviyelerde Gübre Uygulamalarının Değişik Dönemlerde Hasat Edilen Yem Bitkileri Karışımının, Yem Değeri, Yem Kalitesi ve *In Vitro* Fermantasyon Parametreleri Üzerine Etkilerinin Belirlenmesi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 5(1), 243-257.
- Gürsoy, E., Sezmiş, G., & Kaya, A. (2023). Effect of urea and molasses supplementation on *in vitro* digestibility, feed quality of mixed forage silages. Czech Journal of Animal Science, 68 (6), 266-276.
- Hassan, M. U. (2023). Effects of different levels of acacia (robinia pseudoacacia) tree leaves and molasses on alfalfa silage quality, *in vitro* rumen fermentation, methane production and nutrient digestibility. Yüksek Lisans Tezi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, Türkiye.
- Işık, Y. & Kaya, A. (2020). Determination of Feed Values of Different Physical Processed Common VetchSeed (*Vicia Sativa*) by *in vitro* Gas Production Technique. Türk Tarım-Gıda Bilim ve Teknoloji dergisi, 8(12).
- Kandemir, A. F. (2022). Havuç Posası Silajının in-Vitro Gaz Üretim Metodu ile Sindirilebilirliğinin ve Metabolize Edilebilir Enerji Değerinin Belirlenmesi. (Yüksek Lisans Tezi), Fen Bilimleri Enstitüsü, Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye.
- Kara, K., Kocaoğlu Güçlü, B., Baytok, E., Aktug, E., Karakas Oguz, F., Kamalak A. & Atalay A. I. (2018). Investigation in terms of digestive values, silages quality and nutrient content of the using pomegranate pomace in the ensiling of apple pomace with high moisture contents, Journal of Applied Animal Research, 46:1, 1233-1241, DOI: 10.1080/09712119.2018.1490300
- Kaya A., Kaya A. & Sezmiş, G. (2022). Ruminantlar için alternatif kaba yem kaynakları. İksad Yayınları, Gelişmekte Olan Ülkeler İçin Sürdürülebilir Tarım, Bölüm 4. Sayfa 79- 109.
- Kaya, Ç. (2016). Bazı Meyve ve Sebze Posalarının Besin Madde İçerikleri İle Potansiyel Sindirilebilirliklerinin Gaz Üretim Tekniği İle Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Keklikçi, A. (2017). Domates posasının ruminantlar için *in vitro* gerçek sindirilebilirliğinin belirlenmesi (Master's thesis, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü).
- Keleş, G., 2017. Silaj Katkıları: Review. Türkiye Klinikleri J Anim Nutr&Nutr Dis-Special Topics 2017;3(3):171-80.
- Kengoo, H., Bishist, R., Devi, S., Gautam, K., L., & Khalandar, S. (2023). Qualitative Analysis of Apple Pomace based Maize Silage for Animal Feeding, Asian Journal of Dairy And Food Research, 42:3, 292-297.
- Khatooni, M. A., Nobar, R. S. D., & Cheraghi, H. (2014). Evaluating possibility replacement of by-product of apple pomace with barley grain for ruminants by *in vitro* gas production technique. J. animl. Sci Adv, 4(5), 839-844.
- Kılıç, A. 1986. Silo yemi öğretim, öğrenim ve uygulama önerileri. Bilgehan Basımevi, İzmir
- Kılıç, Ü., &Abdiwali, M.A., (2016). Determination of *in vitro* True Digestibilities and Relative Feed Values of Wine Industry Grape Residues as Alternative Feed Source. Journal of the Faculty of Veterinary Medicine, Kafkas University, 22 (6): 895-901.
- Köksal, Y. (2020). Dut posasının çayır otu ile silolanmasının silaj kalitesine ve sindirilebilirliği üzerine etkilerinin araştırılması Doctoral dissertation, PhD thesis, Ondokuz Mayıs University, Health Science Institute, Samsun.
- Kutlu, H.R. (2008). Yem Değerlendirme ve Analiz Yöntemleri. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootečni Bölümü. Ders notu. Z.M. Adana, 208.
- Markham, P. (1942). A steam distillation apparatus suitable for micro-kjeldahl analyses. Journal Biochemistry, 36, 790-797. doi: 10.1042/bj0360790
- Marten, G.C., Buxton, D.R., & Barnes, R.F. (1988). Feeding value (forage quality). p. 463-492. In Hanson et al. (eds.) Alfalfa and Alfalfa Improvement. Agronomy Monograph no. 29.
- Menke, K. H., Raab, L., Salewski, A., Steingass, H., Fritz, D., & Schneider, W. (1979). The estimation of the digestibility and metabolizable energy content of ruminant feedingstuffs from the gas production when they are incubated with rumen liquor *in vitro*. The Journal of Agricultural Science, 93(1), 217-222.
- Menke, K.H., & Steingass, H. (1988). Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and *in vitro* gas production using rumen fluid. Anim. Res. Devel. Separate Print, 28: 7-55

- Mirzaei-Aghsaghali, A., Maheri-Sis, N., Mansouri, H., Razeghi, M. E., Shayegh, J., & Aghajanzadeh-Golshani, A. (2011). Evaluating nutritional value of apple pomace for ruminants using *in vitro* gas production technique. *Ann. Biol. Res*, 2, 100-106.
- NRC (2001). Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 7th edn. NAS-NRC, Washington
- Özkan, C.O.; Cengiz, T., Yanik, M., Evlice, S., Selcuk, B., Ceren, B. & Kamalak A. (2020). Determination of *in vitro* gas production, methane production, digestibility and microbial protein production of some forages and concentrates used in ruminant animal. *BSJ Agri*, 3, 56-60.
- Pirmohammadi R, Rouzbehan Y, Rezayazdi K, & Zahedifar M (2006) Chemical composition, digestibility and in situ degradability of dried and ensiled apple pomace and maize silage. *Small Ruminant Research* 66: 150–155.
- Rohweder, D., Barnes, R. F., & Jorgensen, N. (1978). Proposed hay grading standards based on laboratory analyses for evaluating quality. *Journal of animal science*, 47(3), 747-759.
- SPSS. Windows User's Guide. Version 20.0, SPSS Inc., Michigan Ave., Illinois, USA., Chicago
- Stallings, C. C. (2006). Relative feed value (RFV) and relative forage quality (RFQ). Virginia Cooperative Extension, 404-124.
- Sülük, K., Tosun, İ., & Ekinci, K. (2018). Elma İşleme Atıklarının Özelliklerinin Belirlenmesi ve Bertaraf Yöntemlerinin İncelenmesi. *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, 2 (Special Issue): 98-108.
- TAGEM, 2022. Yem bitkileri üretimi, mevcut durumu ve iklim değişikliği kapsamında alınacak önlemleri değerlendirme" çalışmayı sonuç raporu. 22-23 MART 2022 / ANKARA.
- TÜİK, 2024a. Türkiye İstatistik Kurumu. Hayvancılık İstatistikleri, Haziran 2024. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Hayvancilik-Istatistikleri-Haziran-2024-53811> 19.10.2024
- TÜİK, 2024b. Türkiye İstatistik Kurumu. Bitkisel Üretim İstatistikleri, 2024. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Bitkisel-Uretim-Istatistikleri-2024-53447> 29.12.2024
- URL, 2024. Amasya İli Damızlık Sığır Yetiştiricileri Birliği, URL: <https://www.amasyadsyb.org/sut/yembitki/6> . (29.09.2024)
- Ülger, İ., Kaliber, M., Beyzi, S. B., & Konca, Y. (2015). Yaş şeker pancarı posasının bazı meyve posaları ile silolanmasının silaj kalite özellikleri, enerji değerleri ve organik madde sindirilebilirlikleri üzerine etkisi. *Alinteri Journal of Agriculture Science*, 29(2), 19-25.
- Ünal, Y., Sevim, B., Gümüş, E., Sırakaya, S. Ayaşan, T., Cufadar, Y., Olgun, O., & Duru, A.A., (2024). Determination of The Effects of Apple Pomace Addition on Alfalfa Silage Quality, *kish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 12(7): 1190-1196, 2024
- Van Soest P. J., Robertson, J. B. & Lewis. B.A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74: 3583-3597.
- Ward, R., & Ondarza, M. B. (2008). Relative feed value (RFV) vs. relative forage quality (RFQ). Cumberland Valley Analytical Services. Inc., Hagerstown. MD. available on-line at: http://www.foragelab.com/Media/RFV_vs_RFQ-CVAS, 20.
- Wiedmeier, R. D., Arambel, M. J., & Walters, J. L. (1987). Effect of yeast culture and *Aspergillus oryzae* fermentation extract on ruminal characteristics and nutrient digestibility. *Journal of Dairy Science*, 70(10), 2063-2068.
- Yalçınkaya, M., Y., Baytok, E., &Yörük, M., A., (2012) Değişik Meyve Posası Silajlarının Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri, *Erciyes Üniv Vet Fak Derg* 9(2) 95-106, 2012 Erciyes Üniv Vet Fak Derg 9(2) 95-106, 2012
- Yitbarek M.B., &Tamir, B., (2014). Silage additives: Review. *Open Journal of Applied Science*; 4:258-74
- Yörük, M., Aksu, T., & Gül, M. (2014). Farklı Kuru Madde Düzeyi Esasına Göre Hazırlanan Şeker Pancarı Posası Silajlarının, Silaj Kalitelerinin ve Rumen Yıkılabilirliklerinin Tespit Edilmesi. *Atatürk Üniversitesi Veteriner Bilimleri Dergisi*, 9(3). <https://doi.org/10.17094/avbd.85614>.

DSSAT Bitki Simülasyon Modelinin Kullanım Dinamikleri ve Tokat Tarımsal Üretimindeki Rolü: Çelikli Havzası Örneği

Ömer Vanlı^{1*}, Saniye Demir²

Özet: Ülkemizde yapılan tarımsal üretimlerde verim ve rekolteyi etkileyen faktörlerin analizi ve bu ürünlerin erken verim tahmini büyük önem arz etmektedir. Çelikli havzasındaki çiftçiler buğday üretimini artırmak amacıyla bakım yöntemlerini genellikle geleneksel metot ve miktarlar kullanarak sürdürmektedirler. Fakat, Gelişen bilim ve teknoloji ile birlikte çevreye duyarlı yüksek ve kaliteli verim elde edebilmek için bitki simülasyon modelleri (BSM) ile analizi mümkün hale getirmiştir. Gerekli değerlendirmeler sonrasında ise bir takım uyum ve önlem alma uygulamaları yapılmalıdır. Çelikli havzasındaki tarlalarda yetiştirilen buğday çeşitlerinin verimliliği artırmak için farklı zaman ve miktarlarda uygulama yöntemleri de zaman zaman denenmiştir. Çalışmamızın amacı, Ekiz ekmeklik buğday çeşidi ile 1+5 farklı Ekim Zamanı (EZ) uygulamalarına göre Kanopi yüksekliği, Bitki azot miktarı, Buharlaşma ve terleme miktarları, Yaprak alan ve Hasat indeksleri, Biyokütle ve Hasat ağırlıkları değerlendirilmiştir. Çalışmada, (EZ1=7 Ekim (Gerçek Ekim), EZ2=21 Ekim (15 gün sonrası), EZ3=4 Kasım (30 gün sonrası), EZ4=18 Kasım (45 gün sonrası), EZ5=2 Aralık (60 gün sonrası), EZ6=16 Aralık (75 gün sonrası)) gibi farklı buğday ekim etkisinin ilgili verim ve diğer çıktılara etkisi değerlendirilmiştir. İç anadolu geçit bölgesinde yürütülen ve elde edilen bu sonuçlara göre, Farklı ekim tarihleri arasında en uygun ekim tarihi ürün çıktısına göre değişmekle birlikte Ekim olarak belirlenmiştir. Modelleme sonuçlarına uygun değerlendirmeler zaman, çevre ve maliyet gibi konularda önemli kazanımlar elde edileceği öngörülmüştür.

Anahtar Kelimeler: BSM, DSSAT, Çelikli, Ekiz, Ekim Zamanı (EZ)

Usage Dynamics of the DSSAT Crop Simulation Model and the Role of Tokat City in Agricultural Production: Celikli Basin Case

Abstract: In our country, the analysis of factors affecting yield and harvest in agricultural production and the early prediction of these products are of great importance. Farmers in the Celikli basin generally use traditional methods and quantities for wheat production to increase yield. However, with the advancement of science and technology, it is necessary to analyze agricultural input uses with crop simulation models (CSM) in order to achieve high and quality yields. After the necessary evaluations, a series of adaptation and precautionary measures should be implemented. Different application methods in various times and amounts have also been tried from time to time to increase the yield of the wheat varieties grown in the Çelikli basin fields. The aim of our study was to evaluate canopy height, plant nitrogen content, evaporation and transpiration amounts, leaf area and harvest indices, biomass, and harvest weights according to 1+5 different sowing time (ST) applications with the Ekiz bread wheat variety. In the study, the effects of different wheat sowing dates (EZ1=October 7 (Actual Sowing), EZ2=October 21 (15 days later), EZ3=November 4 (30 days later), EZ4=November 18 (45 days later), EZ5=December 2 (60 days later), EZ6=December 16 (75 days later)) on relevant yields and other outputs were evaluated. According to the results obtained from the study conducted in the Central Anatolia transition zone, the most suitable planting date among different planting dates was determined to be October, although it varies based on the product output. It is predicted that significant gains will be achieved in areas such as time, environment, and cost based on the modeling results.

Keywords: CSM, DSSAT, Çelikli, Ekiz, Planting Date (EZ)

Makale Bilgisi (Araştırma)

¹ İstanbul Teknik Üniversitesi, (İTÜ)
34469, Maslak, Sarıyer, İstanbul,
Türkiye

² Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Ziraat
Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki
Besleme Bölümü, 60240, Taşlıçiftlik,
Tokat, Türkiye

*Sorumlu yazar: vanli@itu.edu.tr

Alıntı: Vanlı, O., Demir, S., (2025), DSSAT
Bitki Simülasyon Modelinin Kullanım
Dinamikleri ve Tokat Tarımsal Üretimindeki
Rolü: Çelikli Havzası Örneği, Memba Su
Bilimleri Dergisi, 11, (1) 62–72.
<https://doi.org/10.58626/memba.1667361>

Başvuru Tarihi: 10 Şubat 2025

Kabul Tarihi: 26 Mart 2025

Yayın Tarihi: 28 Mart 2025

1. Giriş

Tarım, her aşamada olduğu gibi gübreleme ve sulama uygulamaları yönüyle de, iklim değişikliğinden gittikçe daha çok olumsuz etkilenecek sektörlerden biri olacağı öngörülmektedir. Tarımsal üretimde verimliliği arttırmak ve kayıpları azaltmak için üretim öncesi ve aşaması sırasında birtakım teknolojik karar destek uygulamalarına göre değerlendirmelerde bulunmak son derece önemlidir.

Ülkemiz tarımsal üretimde stratejik ürünlerden birisi de buğday bitkisidir. Hemen hemen tüm bölgelerimizdeki iklim ve toprak şartlarında yetişebilen buğday bitkisi, son yıllarda olumsuz çevre şartlarıyla karşı karşıya kalmaktadır. Ülkemizde 2022 yılındaki buğday üretimi, 6.6 milyon hektarlık tarımsal alandaki toplam rekolte önceki yıla oranla yüzde 11,9 oranında artarak ve 19.8 milyon ton'a ulaşmıştır (Ministry of Agriculture and Forestry 2022).

Buğday tüketiminin yarısından fazlası insanlara gıda amaçlı, geri kalan kısmı ise hayvan besleme ve farklı işleme sektörlerinde kullanılmaktadır. Özellikle son yıllarda, gıda, tohum ve sanayi odaklı dahil olmak üzere buğday için küresel ölçekte büyük talepler baş göstermiştir (Pequeno et al. 2021).

Bitki Simülasyon Modelleri'nin (BSM), Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), Uzaktan Algılama (UA) ve Yapay Zeka (YZ) gibi gelişmiş metod ve algoritmalar ile entegre çalışabilen karar destek sistemleri yoluyla da hızlı ve anlaşılır analizler yapılabilmektedir (Ahmed et al. 2022).

Bitki modellerinin işleyişi ve değerlendirilmesinin üreticiler tarafından iyi anlaşılması, gelecekteki çevreyi duyarlı yüksek verim ve kalitelerde üretim ve tüketim açısından çok önemli iyileştirmeler sağlarlar (Gavasso-Rita et al. 2024). Ülkemizde de başta ege bölgesi (Özdemir et al. 2024) olmak üzere birçok bölge iklim değişikliğinden ciddi olumsuz etkiler yaşandığı yapılan çalışmalarla göstermektedir. Bu olumsuz etkilere karşı gerekli önlemler alınması ve uyumlaştırma çalışması için simülasyon çalışmaları devam etmektedir. Trakya bölgesinde (Özdoğan 2011) ve Güneydoğu anadolu bölgesinde (Vanlı 2019) model bazlı akademik çalışmalar yapılmıştır. Bazı ülkelerde ise verim açığı çalışmaları da bitki modellerinden yararlanılmaktadır (van Ittersum et al. 2013). Ayrıca topraktaki karbon azot (C/N) dengesinde önemli hesaplamalar yapılabildiği gibi (Yang et al. 2013), modellerde verim tahminlerinin heterojen özellikteki geniş bölgesel çalışmalar için hücre bazlı konumsal analizler üzerinde de çalışılmaktadır (Shelia et al. 2019). Toprak altyapısı olarak, modelleme uygulamaları için kullanılabilecek ayrıntılı toprak bilgisine olan ihtiyaç artmıştır. Dolayısıyla, WISE 1.1 Toprak Profil Veri Seti'nin (Gijssman et al. 2007) analizi yeniden Uluslararası Tarımsal Sistemler Uygulama Konsorsiyumu'nun (ICASA) standart formatlarına göre DSSAT gibi dinamik tarım modellerine uyarlanarak gerçekleştirilmiştir (Romero et al. 2012). Ayrıca çeşit bazında deneysel metodlar sonucu belirlenen genetik katsayıları da kullanmak simülasyonda tahmin doğruluğunu arttırmaktadır (Bannayan and Hoogenboom 2009).

Bitki simülasyon modelleri genelinde ülkemizde bir kısım özel amaçlı akademik çalışmalarla sınırlı olduğu gibi DSSAT model sonuçlarının, çiftçiler tarafından gerçek verim sonuçları ile karşılaştırmalı bütünlük içerisinde ele alınması hakkında ciddi bir çalışmalara ihtiyaç bulunmaktadır. Bu durum aynı zamanda geniş tarımsal alanların sürdürülebilirlik ruhuna uygun üretiminde önemli bir faktör olarak verimliliği arttırmanın devamını sağlayabilmektedir.

Çalışma kapsamında, Çelikli bölgesinde 2022-2023 sezonunda yetiştirilen ekiz ekmeklik buğday çeşidi kullanılmıştır. Ekiz, belirgin özellik olarak geçit bölgelerinde yetişen, soğuğa dayanıklı ve sulanması durumunda verimi 1.050 kg'a kadar çıkabilen kaliteli bir çeşittir. bu çeşidin genetik katsayısının tesbitine yönelik tarla deneme çalışmaları yapılmadığından dolayı DSSAT bitki modelinde kullanmak için çeşitlerin ıslahındaki atalarının genetik katsayıları kullanılmıştır. Ekiz çeşidi için, üçüncü kuşak babası olan (CIMMYT 2017) Bezostaya-1 çeşidinin genetik katsayısı kullanılmıştır (Gbegbelegbe et al. 2017).

Tarımsal üretimdeki artış ve kârlılık, fenolojinin büyüme ortamında endekslenmesi ile daha iyi sağlanabilir. Örnek olarak erken çiçek açma zamanlarda yetersiz biyokütle yada soğuk don hasarına neden olabiliyorken, geç çiçek açma zamanlarında ise ısı ve su stresi kaynaklı verim kayıplarını arttırabilmektedir. Son yıllarda, değişen iklim ve mevsim koşulları, tarla uygulamaları ve ekim-bakım ekipmanları, buğday için ekim tarihi önerilerinin yeniden değerlendirilmesine yol açmıştır. Yüksek verim elde etmek için, DSSAT bitki modeli ortamında mevcut iklim ve toprak koşullarında çiçeklenmeyi başlatma potansiyeline bağlı olarak farklı ekim tarihi kombinasyonları da denenebilmektedir. Buğdayın fenolojik gelişimi, hem termal zaman hem de vernalizasyon ve fotoperiyoda bağlı olarak çeşidin genetik katsayısı temelinde tepkiler vermektedir. Dolayısıyla farklı fenolojiye sahip her çeşit için ekim tarihi önerileri, ilgili bölgedeki iklim koşullarına göre de değişkenlik göstermektedir.

Bu çalışmanın amacı, DSSAT bitki büyüme modelinin farklı ekim tarihleri bazında kanopi yüksekliği, bitki azot miktarı, buharlaşma ve terleme miktarları, yaprak alan ve hasat indeksleri, biyokütle ve hasat Ağırlıkları gibi 8 farklı bitki gözlem ve ölçüm bileşen çıktıları değerlendirilmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Çalışma Alanı

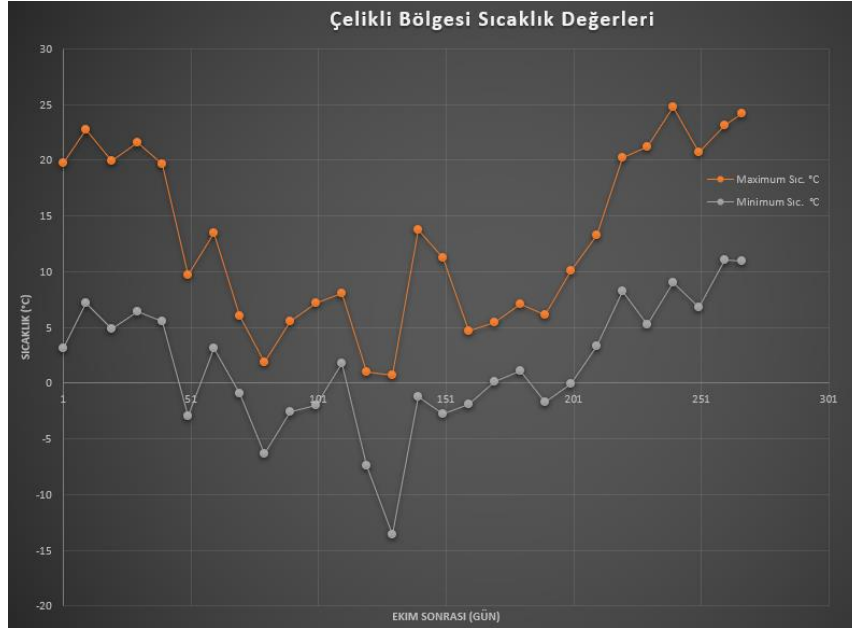
Araştırma, 2023-2024 yetiştirme dönemlerinde Tokat-Çelikli koşullarında yürütülmüştür. Bölge 40.08 enlem ve 36.37 boylam arasında yer almaktadır. Bölgenin denizden yüksekliği ise 1200 m civarındadır. Ekim işlemi 07.10.2023 tarihinde, sıra arası 15 cm, ekim derinliğinin 5 cm ve ekim sıklığının ise m² 'de 777 bitki olacak şekilde ayarlanmıştır. Çalışma alanının coğrafi konumu Şekil 1'de verilmiştir. Çelikli bölgesi, İç Anadolu bölgesi ile Karadeniz bölgesi arasında bulunan verimli ve yarı kurak karakterli geçit bölgesi özelliklerine sahiptir. Ortalama yıllık yağış 535 mm civarında olmakla birlikte ortalama sıcaklık ise yaklaşık 8,1 °C civarında olduğu tesbit edilmiştir. Tarım yapılan bu ilgili alan genellikle buğday–nadas şeklinde ekim nöbeti uygulanmakla birlikte, düşük oranlarda da mercimek ve yem bitkileri tarımı yapılmaktadır.



Şekil 1. Çalışma alanının coğrafi konumu

2.2. İklim Değerleri

Tarımsal uygulamalarda iklim oldukça önemli bir faktör olmaktadır. Fakat iklim değişkenliği ve çeşitliliği gibi istenmeyen çevresel şartlar, zararlı ve hastalık faktörleri ve olası politika değişiklikleri gibi birçok öngörülme riskine yol açabilmektedir. İklimin temel elemanları sıcaklık, yağış, oransal nem, güneşlenme süresi ve şiddeti, basınç, rüzgâr hızı ve yönü, buharlaşma gibi parametrelerdir. Ekiz çeşidi olan buğday bitkisinin ekildiği tarlaların yıllara ait sıcaklık iklim verileri Çizelge 1'de verilmiştir.



Şekil 2. Çelikli bölgesi maksimum ve minimum sıcaklık değerleri grafiği

2.3. Toprak Değerleri

Analizler, Bünye sınıfı olarak silt ve kil, hacim ağırlığı gibi toprağın fiziksel özellikleri ile potasyum (K),

fosfor (P), azot (N), katyon değişim kapasitesi (KDK), Kireç (CaCO₃), pH ve organik karbon (OC) gibi kimyasal özelliklerden oluşan parametreler için yapıldı. Tarlanın toprak numunesi analizi modeldeki SBUILD (DSSAT V 4.8.2) programında toprak dosyası olarak oluşturulmuştur. Drenaj üst ve alt sınırı, doymunluk, kütle yoğunluğu, doymuş hidrolik iletkenlik ve kök büyüme faktörü gibi diğer parametreler de modelde otomatik olarak hesaplandı. İlgili buğday tarlasından alınan toprak örneklerine ait toprak temel değerleri ve ilgili alanın toprak fiziksel ve kimyasal değerlerine ait analiz sonuçları Çizelge 1 ve 2’de verilmiştir.

LAT	LONG	SCS FAMILY	SALB	SLU1	SLDR	SLRO	SLNF	SLPF
40,11	36,35	Kumlu, Tınlı, Alüvyal	0,13	9,3	0,6	76	1	1

Çizelge 1. DSSAT modelindeki Çelikli bölgesi ana toprak parametreleri

LAT: Enlem (Derece); **LONG:** Boylam (Derece); **SCSFAM:** ABD NRCS sistemi; **SALB:** Albedo (Oran); **SLU1:** Aşama 1 buharlaşma limiti (mm); **SLDR:** Drenaj oranı, (oran/gün); **SLRO:** Akış eğrisi no. (Toprak Koruma Servisi/NRCS); **SLNF:** Mineralizasyon faktörü (0 - 1); **SLPF:** Toprak verimliliği faktörü (0 - 1).

SLB	SLMH	SLLL	SDUL	SSAT	SRGF	SBDM	SLOC	SLCL	SLSI	SLHW	SCEC
5	AP	0.092	0.189	0.327	1	1.45	0.71	19.2	17.6	6.9	7.6
10	B1	0.129	0.238	0.335	0.75	1.61	0.54	22	14	5.7	3.1
15	B2	0.18	0.293	0.347	0.75	1.52	0.24	33.1	16	5.9	3.9
20	B2	0.192	0.307	0.351	0.75	1.48	0.27	35.6	17.7	5.7	4.4
25	B2	0.245	0.364	0.379	0.35	1.39	0.15	47.6	24.9	5.1	6.4
30	B2	0.283	0.4	0.415	0.2	1.38	0.19	55.6	18.9	4.6	15
40	B3	0.336	0.455	0.47	0.15	1.26	0.11	67.6	21.2	4.6	36.8

Çizelge 2. DSSAT modelindeki Çelikli bölgesi toprak fiziksel ve kimyasal parametreleri

SLB: Derinlik, katman tabanı (cm); **SLMH:** Ana Horizon, **SLLL:** Bitki tarafından çıkarılabilir toprak suyu alt sınırı (cm³/cm³); **SDUL:** Drenaj üst sınırı (cm³/cm³); **SSAT:** Doymuş üst sınır (cm³/cm³); **SRGF:** Kök büyüme faktörü, sadece toprak (0 - 1); **SBDM:** Toprak yoğunluğu, nemli (g /cm³); **SLOC:** Organik karbon (%); **SLCL:** Kil (%); **SLSI:** Silt (%); **SLHW:** Sudaki pH; **SCEC:** Katyon değişim kapasitesi (cmol/kg).

2.4. DSSAT Bitki Büyüme Modeli

Bitki büyüme modelleri, bitkilerin gelişim sürecini nicel olarak analiz etmeye ve öngörmeye yarayan matematiksel çerçevelerdir. Bu modeller genellikle, bitkilerin genetik yapısı, çevresel koşullar (ışık, sıcaklık, su, besin vb.) ve fizyolojik faktörler (fotosentez, solunum, hormonlar) arasındaki ilişkileri dikkate alır (van Ittersum and Donatelli 2003).

DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer), tarımsal araştırma ve planlama alanında sıkça kullanılan, farklı ürünlerin büyüme, gelişme ve verimlerini simüle eden kapsamlı bir yazılım paketidir. Modelleme yaklaşımı, bitkilerin büyüme süreçlerini ayrıntılı şekilde ele alırken aynı zamanda toprak, iklim koşulları ve yönetim uygulamaları (ekim zamanı, gübreleme, sulama) gibi çoklu değişkenleri de hesaba katar. Bu sayede, araştırmacılar ve tarım uzmanları farklı senaryolar üzerinde çalışarak en verimli yönetim stratejilerini belirleyebilir, ürün deseni optimizasyonu ve iklim değişikliğine uyum gibi konularda öngörülerde bulunabilmektedir. DSSAT'ın bileşenlerinde kullanılan modeller, bitki büyümesini sadece tek bir formüle dayalı olarak değil, fizyolojik süreçleri kapsayan karmaşık algoritmalar aracılığıyla incelenmektedir. DSSAT Modeli, Tahıllar, Baklagiller, Yağlı Tohumlar, Yumru Bitkiler, Lifli Bitkiler, Yem Bitkileri, Şeker Bitkileri, Meyveler, Sebzeler verim tahmini için kullanılır. DSSAT bitki simülasyon ailesinin birçok diğer modelden ayıran en önemli yönü, çok sayıda bitki üzerinde çalışma imkânı sunmasıdır. DSSAT bitki simülasyon ailesi, CERES, NWHEAT, CROPGRO, CANEGRO, CASUPRO ve SUBSTOR gibi farklı bitkiler için özelleştirilmiş modelleri içerir (Jones et al. 2003). CROPGRO modeli, fotosentez sırasında yapraklarda gerçekleştirilen karbon asimilasyonuna dayanan bir modelken, CERES modeli, güneş ışığı ile elde edilen birim biyokütle hesaplaması ile tanımlanan radyasyon tabanlı bir modeldir. Bu sistemde ayrıca genetik katsayılar (genetic coefficients), belirli bir bitki türü veya çeşidinin fenolojik, fizyolojik ve morfolojik özelliklerini tanımlayan kritik parametrelerdir. Bu katsayılar, farklı çevresel koşullarda bitkinin gelişimini ve verimini tahmin etmek için kullanılır. Genetik katsayılar, genellikle saha denemeleri ve model optimizasyon teknikleri kullanılarak belirlenir. Bu süreçte, farklı ekim tarihleri, su ve azot seviyeleri gibi değişkenler altında gerçekleştirilen gözlemler, model çıktıları ile karşılaştırılarak bitkiye

özgü parametrelerin en iyi şekilde kalibre edilmesi sağlanır. Özellikle, ısı birikimi gereksinimi, yaprak alan indeksi, büyüme oranı ve tane doldurma süresi gibi özellikler, modelin tahmin doğruluğunu artırmada önemli rol oynar. Genetik katsayıların doğru bir şekilde belirlenmesi hem bölgesel hem de küresel ölçekte iklim değişikliğinin bitki verimi üzerindeki etkilerini değerlendirmek açısından büyük önem taşır. Bu katsayılar, farklı genotiplerin çevresel streslere verdiği yanıtları anlamaya ve yeni tarımsal stratejiler geliştirmeye yardımcı olur. Aynı zamanda, sürdürülebilir tarım uygulamaları için en uygun çeşitlerin seçilmesi ve genetik ıslah programlarının yönlendirilmesi açısından da kritik bir bileşendir. Aşağıda genetik katsayı tesbiti için tarla deneme çalışmaları yapılmadığından dolayı ekiz çeşidinin üçüncü kuşak babası olan (CIMMYT 2017) Bezostaya-1 çeşidinin genetik katsayısı bulunmaktadır.

Çeşit	P1V ^a	P1D ^b	P5 ^c	G1 ^d	G2 ^e	G3 ^f	PHINT ^g
Ekiz (Bezostaya-1)	60	110	600	22	40	0.5	135

Çizelge 3. Ekiz çeşidinin CERES-Buğday modülü kapsamında genetik katsayıları.

^aP1V vernalizasyon için optimum günler (gün)

^bP1D fotoperiyodik cevap (% oranında azalma/fotoperiyod'daki 10 saatlik düşüş)

^cP5 tane doldurma süresi (°C/gün)

^dG1 kernel sayısı/çiçeklenmede kanopi ağırlığı (#/g)

^eG2 optimum koşullarda tane büyüklüğü (mg)

^fG3 stressiz kök filiz ağırlığı (gr kuru ağırlık)

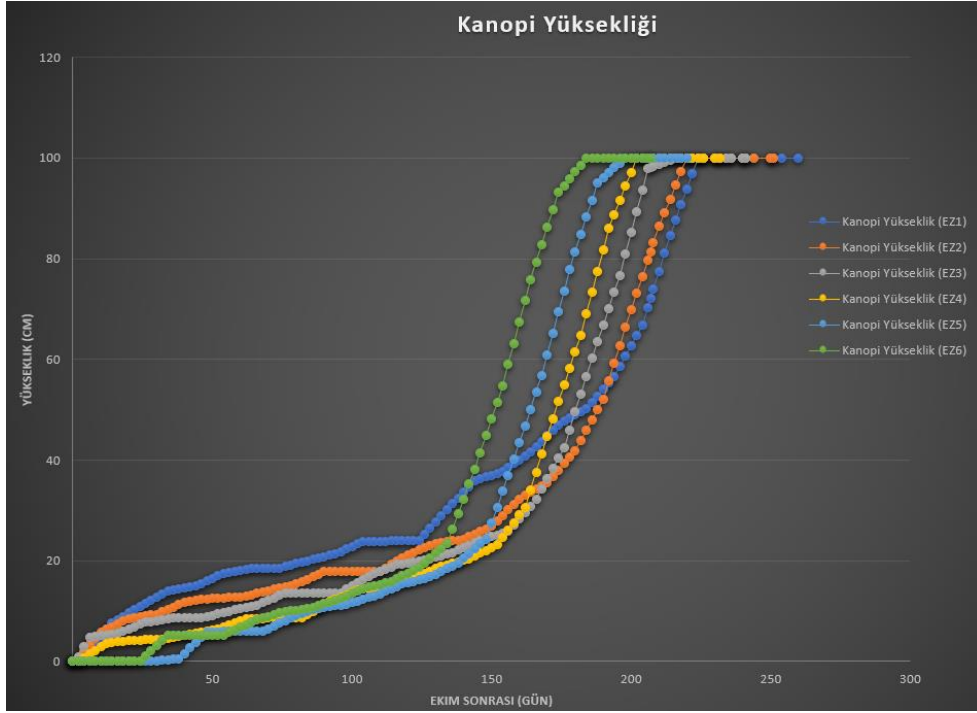
^gPHINT ardışık yaprak ucu görünüm aralığı (°C/gün).

3. Bulgular

Toplanan yönetim, toprak, iklim ve bitki katsayı verileri DSSAT Modelindeki seasonal uygulamasında açılan dosyada işlenmiştir. Modelin 7 Ekim tarihinde gerçek ekim (EZ1) ile başlayan treatment özelliği 15 gün sonrası olan 21 Ekim (EZ2), 30 gün sonrası olan 4 Kasım (EZ3), 45 gün sonrası olan 18 Kasım (EZ4), 60 gün sonrası olan 2 Aralık (EZ5) en son 75 gün sonrası olan 16 Aralık (EZ6) tarihi ile tamamlanmıştır. Tüm bu farklı tarihlerin simülasyonu ile Aşağıda bulunan 8 farklı model çıktısının performans karşılaştırması yapılmıştır.

3.1. Kanopi Yüksekliği

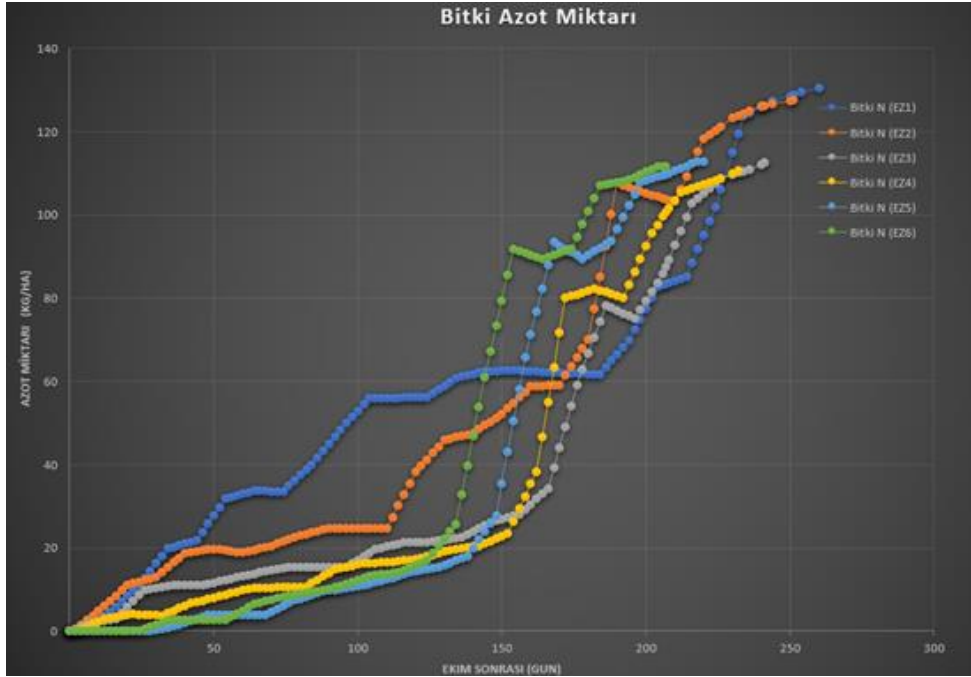
Diğer bitkilerde de olduğu gibi buğday bitkilerinde de bitki biyokütlesi ve fenotipik gelişimleri sulama ve özellikle uygun miktarda sağlanan Azot gübrelemesine dayanmaktadır. Ekiz buğday çeşidinin farklı tarihlere verdiği kanopi yükseklikleri performansları birbirlerine çok yakın olmakla birlikte 150 günden sonra bazı tarihlerin erken boylanmaya başladığını göstermiştir. Aşağıdaki Şekil 3 de farklı tarihler bazında kanopi yükseklikleri gösterilmiştir.



Şekil 3. Çelikli bölgesi buğday bitkisi kanopi yüksekliği grafiği

3.2. Bitki Azot Miktarı

Toprağa verilen taban ve üst gübre miktarlarına göre bitkide gözlenen azot miktarları da ekim tarihine göre farklılık gösterdiği görülmüştür. EZ1 ve EZ2 gibi tarihli ekimlerde ilk 140 günlere kadar diğerlerinden iyi performans göstermiştir. Aşağıdaki Şekil 4 de görülen 150 günden sonraki günlerde geç ekim yapılanlar da en iyi azot miktarını kullanmaya başlamıştır.

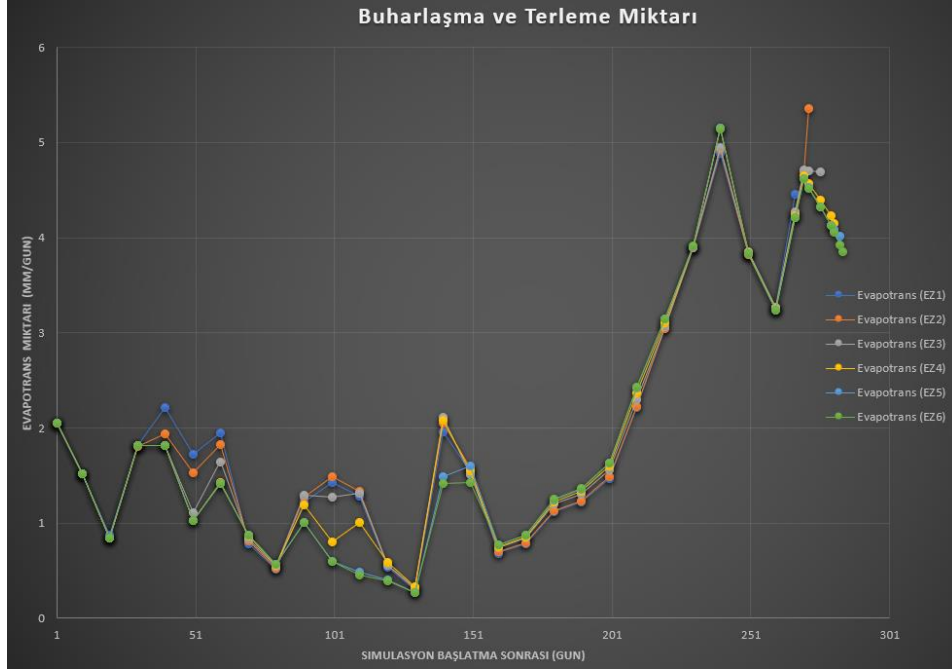


Şekil 4. Çelikli bölgesi buğday bitkisi kanopi yüksekliği grafiği

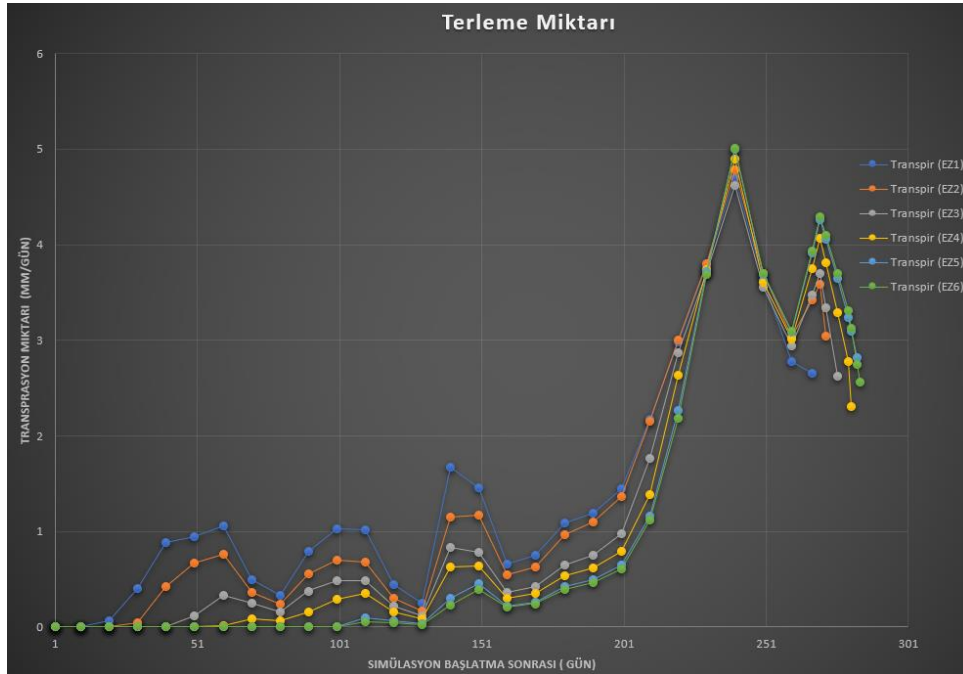
3.3. Buharlaşma ve Terleme Miktarları

Bitkinin yetiştirme performanslarını anlatan göstergelerden biri de sıcaklığa tepki olarak bitki fizyolojisinde oluşan evapotranspirasyon denilen topraktan buharlaşma ve bitkiden Terleme yoluyla çıkan

nem miktarlarıdır. Aşağıdaki Şekil 5'te de genel itibariyle birbirine yakın oranlarda buharlaşma ve terleme olduğu görülmüştür. Fakat Şekil 6 da bitkiden terleme yoluyla çıkan nem miktarında ilk 200 günde az da olsa farklı ekim zamanına göre farklı tepkiler verilmiştir.



Şekil 5. Çelikli bölgesi buğday bitkisi buharlaşma ve Terleme miktarı grafiği

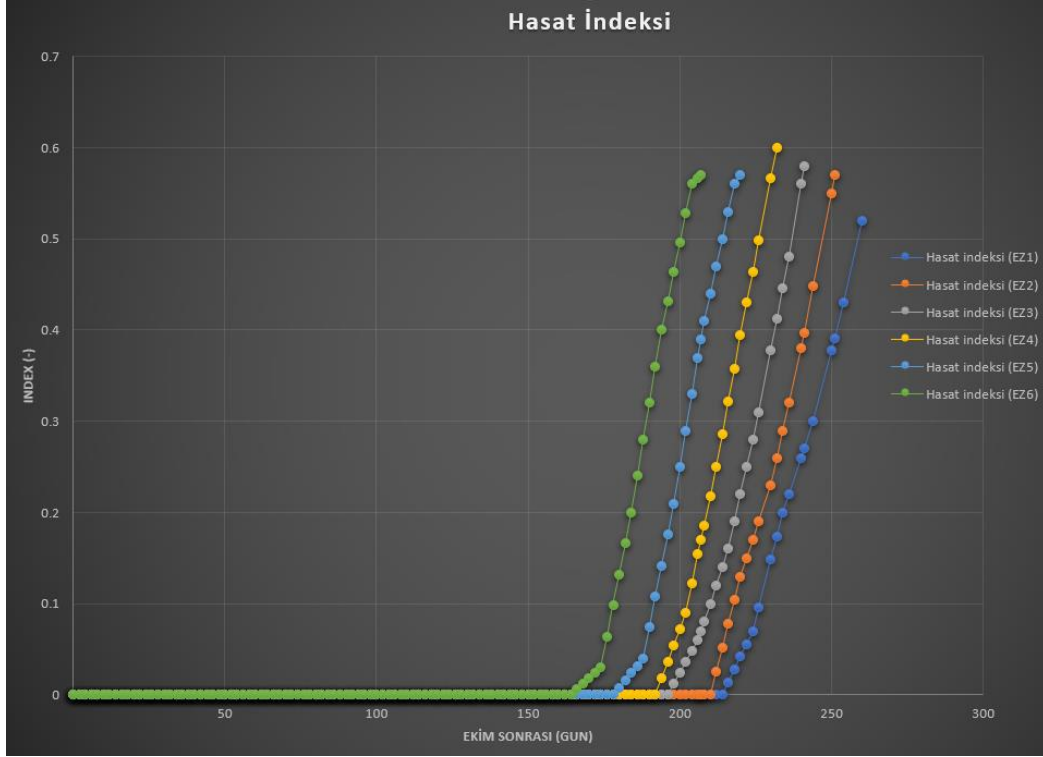


Şekil 6. Çelikli bölgesi buğday bitkisi Terleme miktarı grafiği

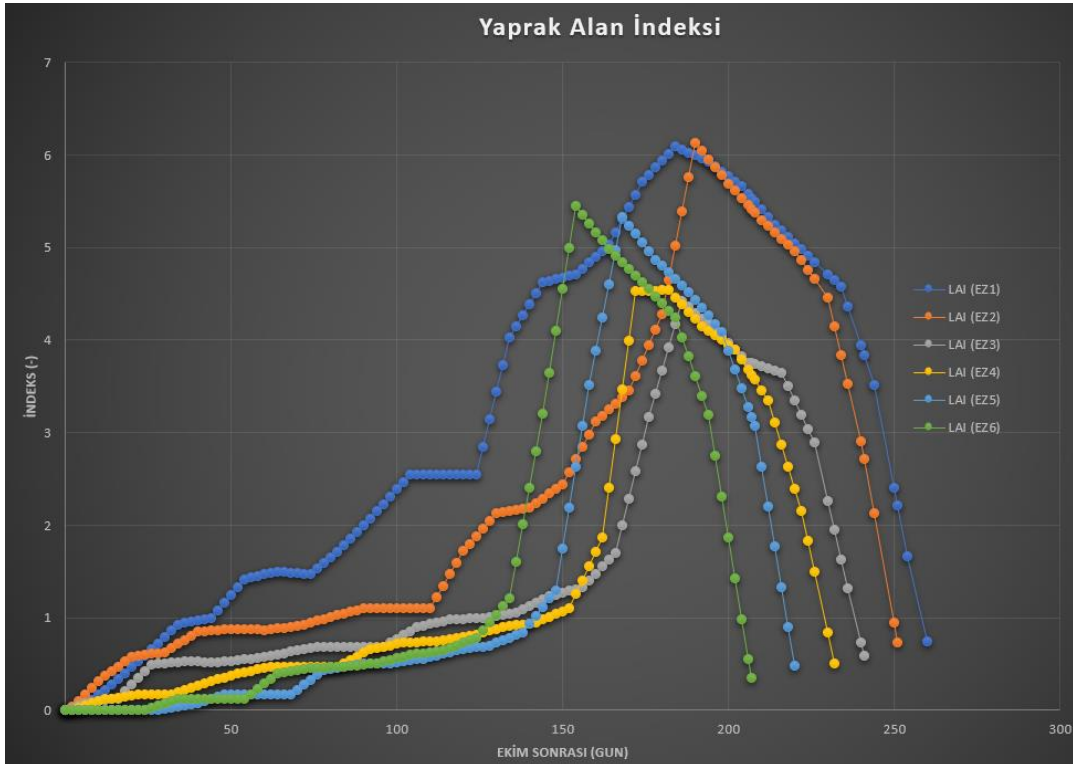
3.4. Yaprak Alan ve Hasat İndeksleri

Bitki İndeksleri bitkideki ürün performanslarını oranlar metodu ile gösteren en iyi analizlerdendir. Çalışmamız kapsamında bitkide en yaygın uygulanan indekslerden olan yaprak alan ve hasat İndekslerinin modeldeki yansımaları Aşağıdaki Şekil 7 ve Şekil 8 de gösterilmiştir. Hasat indeksinde geç ekimden başlayarak

en erken tarihte ekim yapılan uygulamaya doğru bitki dane veriminin yükselmeye başladığı görülmüştür. Fakat yaprak alan indeksinde ilk ekim olan EZ1 en iyi performansı göstermiştir.



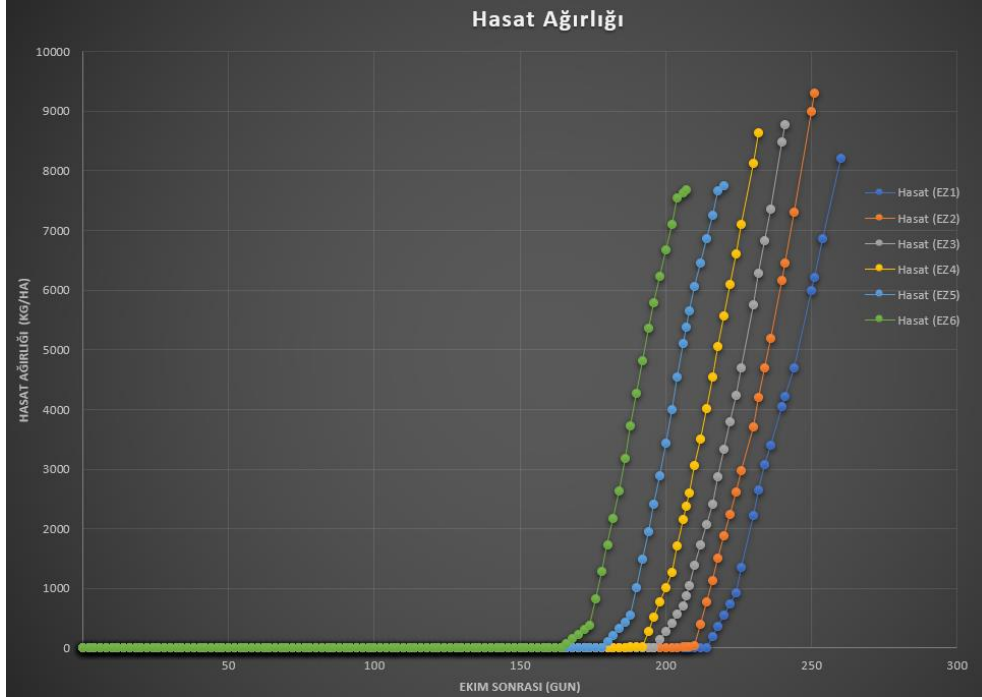
Şekil 7. Çelikli bölgesi buğday bitkisi hasat indeksi grafiği



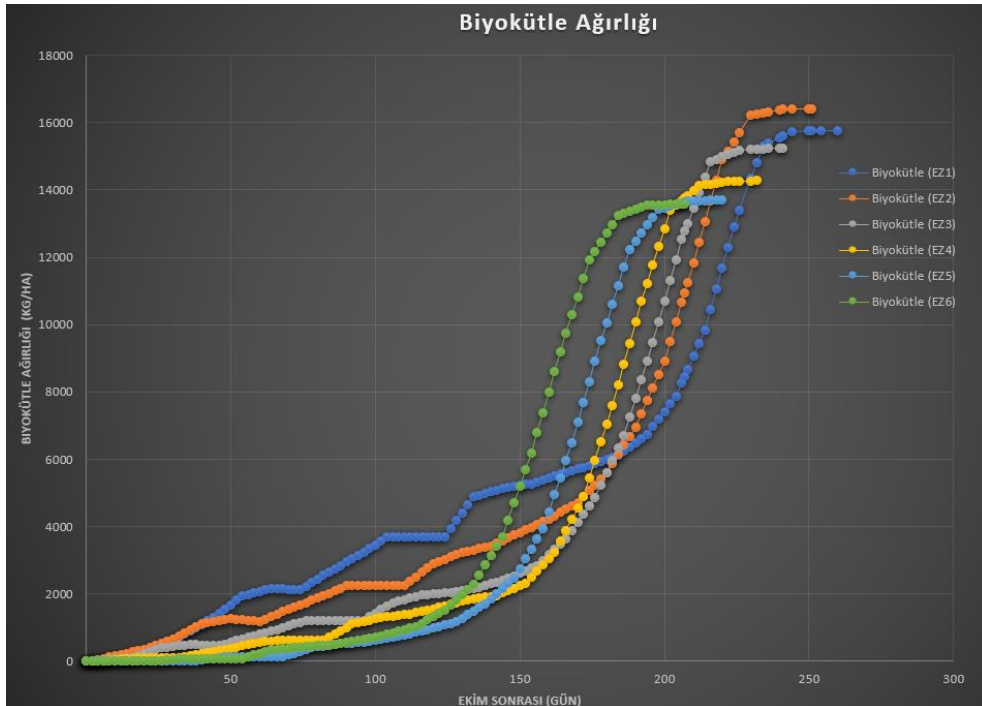
Şekil 8. Çelikli bölgesi buğday bitkisi yaprak alan indeksi grafiği

3.5. Biyokütle ve Hasat Ağırlıkları

Bitki modelinde ortaya çıkan son simülasyon performansı bitkinin biyokütle ve hasat ağırlıkları olmuştur. Verim miktarı olarak da bilinen hasat ağırlıklarında son ekim tarihlerinin en erken performans göstermeye başladıkları görülmüştür. Bitkinin yeşil aksamının yoğunluğu anlamındaki biyokütle ağırlığı ise tüm ekim tarihleri bazında küçük farklılıklarla birlikte birbirine paralel performans göstermişlerdir. Aşağıdaki Şekil 9 da hasat ağırlıklarını Şekil 10 da ise biyokütle ağırlıkları sergilenmiştir.



Şekil 9. Çelikli bölgesi buğday bitkisi Hasat ağırlığı grafiği



Şekil 10. Çelikli bölgesi buğday bitkisi biyokütle ağırlığı grafiği

4. Tartışma ve Sonuç

Dünyada ve ülkemizde en önemli temel besin kaynaklarından olan buğday, son zamanlarda global çevre problemleri ile birlikte verim ve kalitede azalma meydana gelmektedir. İklim değişikliğinin olumsuz etkisine karşı tarımsal alanlarda uyumlaştırma uygulamaları da çözümler arasındadır. Bunlardan biri de ekim tarihini doğru belirlemektir. Çalışmamızda buğday bitkisinin Ekiz çeşidi olarak DSSAT bitki büyüme modelinde 15 gün aralıklı farklı ekim tarihleri uygulanmıştır. 6 farklı tarihler çerçevesinde bitki ürün yan çıktılarının simülasyon sonuçları değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucuna göre nihai hasat zamanında kanopi yüksekliğinde farklılık görülmemiştir. Bitki azot miktarındaki kısmi artışlar, gübreleme uygulamaları sonucu ve toprağın da fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre bitkiye yarayışlı nitrat ve amonyum geçişlerinin olduğu farkedilmiştir. Yine yaprak alan ve hasat İndeksleri de bitki fizyolojisindeki olumlu değişimlerin önemli birer göstergesi durumundadır. Çalışmalarımızda ayrıca biyokütle ağırlıklarında da yüksek miktarların ekim tarihlerinden bağımsız ortaya çıkması bitki besin maddelerinin toprak ve iklim şartları ile uyum içinde gelişme gösterdiği de anlaşılmıştır. Sonuç olarak, bu konuda farklı çeşitler bazında ekim zamanı, ekim aralık ve derinliği, ekim miktarı ve gübreleme ve sulama miktarları yönünden daha fazla simülasyon ve denemeler yapılması gerekmektedir.

5. Teşekkür

Çalışmamız için Gaziaosmanpaşa Üniversitesi ziarat fakültesi toprak bölümü ile işbirliği yapan çelikli bölgesi buğday üreticilerine anket ve bilgi paylaşımları için teşekkür ederiz.

6. Kaynakça

- Ahmed, Zeeshan; Gui, Dongwei; Qi, Zhiming; Liu, Yi; Liu, Yunfei; Azmat, Muhammad (2022): Agricultural system modeling: current achievements, innovations, and future roadmap. In *Arabian Journal of Geosciences* 2022 15:4 15 (4), pp. 1–13. DOI: 10.1007/S12517-022-09654-Bannayan, Mohammad; Hoogenboom, Gerrit (2009): Using pattern recognition for estimating cultivar coefficients of a crop simulation model. In *Field Crops Research* 111 (3), pp. 290–302. DOI: 10.1016/j.fcr.2009.01.007.
- Gavasso-Rita, Yohanne Larissa; Papalexiou, Simon Michael; Li, Yanping; Elshorbagy, Amin; Li, Zhenhua; Schuster-Wallace, Corinne (2024): Crop models and their use in assessing crop production and food security: A review. In *Food and Energy Security* 13 (1), Article e503. DOI: 10.1002/fes3.503.
- Gijsman, A. J.; Thornton, Philip K.; Hoogenboom, Gerrit (2007): Using the WISE database to parameterize soil inputs for crop simulation models. In *Computers and Electronics in Agriculture* 56 (2), pp. 85–100. DOI: 10.1016/j.compag.2007.01.001.
- Jones, J. W.; Hoogenboom, G.; Porter, C. H.; Boote, K. J.; Batchelor, W. D.; Hunt, L. A. et al. (2003): The DSSAT cropping system model. In *European Journal of Agronomy* 18 (3-4), pp. 235–265. DOI: 10.1016/S1161-0301(02)00107-7.
- Ministry of Agriculture and Forestry (2022): Crop Production Statistics. TurkStat. Ankara.
- Özdemir, Ayfer; Volk, Martin; Strauch, Michael; Witing, Felix (2024): The Effects of Climate Change on Streamflow, Nitrogen Loads, and Crop Yields in the Gordes Dam Basin, Turkey. In *Water* 16 (10), p. 1371. DOI: 10.3390/w16101371.
- Özdoğan, Mutlu (2011): Modeling the impacts of climate change on wheat yields in Northwestern Turkey. In *Agriculture Ecosystems & Environment* 141 (1-2), pp. 1–12. DOI: 10.1016/j.agee.2011.02.001.

- Pequeno, Diego N. L.; Hernández-Ochoa, Ixchel M.; Reynolds, Matthew; Sonder, Kai; MoleroMilan, Anabel; Robertson, Richard D. et al. (2021): Climate impact and adaptation to heat and drought stress of regional and global wheat production. In *Environ. Res. Lett.* 16 (5), p. 54070. DOI: 10.1088/1748-9326/abd970.
- Romero, Consuelo C.; Hoogenboom, Gerrit; Baigorria, Guillermo A.; Koo, Jawoo; Gijsman, A. J.; Wood, Stanley (2012): Reanalysis of a global soil database for crop and environmental modeling. In *Environmental Modelling & Software* 35, pp. 163–170. DOI: 10.1016/J.ENVSOFT.2012.02.018.
- Shelia, Vakhtang; Hansen, James; Sharda, Vaishali; Porter, Cheryl; Aggarwal, Pramod; Wilkerson, Carol J.; Hoogenboom, Gerrit (2019): A Multi-scale and Multi-model Gridded Framework for Forecasting Crop Production, Risk Analysis, and Climate Change Impact Studies. In *Environmental Modelling & Software* 115 (February), pp. 144–154. DOI: 10.1016/J.ENVSOFT.2019.02.006.
- van Ittersum, M. K.; Cassman, K. G.; Grassini, P.; Wolf, J.; Tittone, P.; Hochman, Z. (2013): Yield gap analysis with local to global relevance-A review. In *Field Crops Research* 143, pp. 4–17.
- van Ittersum, M. K.; Donatelli, M. (2003): Modelling cropping systems - Highlights of the symposium and preface to the special issues. In *European Journal of Agronomy* 18 (3-4), pp. 187–197. DOI: 10.1016/S1161-0301(02)00095-3.
- Vanli, O. (2019): DSSAT Bitki Simülasyon Modeli ve Uzaktan Algılama Verilerinden Elde Edilen İndisler Kullanılarak Buğday Verim Tahmini: İslahiye Ve Nurdağı Örneği. Bilişim Uygulamaları Anabilim Dalı Coğrafi Bilgi Teknolojileri Programı. Doktora Tezi. İTÜ, İstanbul. Bilişim Enstitüsü.
- Yang, J. M.; Yang, J. Y.; Dou, S.; Yang, X. M.; Hoogenboom, G. (2013): Simulating the effect of long-term fertilization on maize yield and soil C/N dynamics in northeastern China using DSSAT and CENTURY-based soil model. In *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 95 (3), pp. 287–303. DOI: 10.1007/s10705-013-9563-z.

Çankırı İlinin Maksimum ve Minimum Sıcaklık Eğilimleri

Neşe Duman¹ , Mustafa Recep İrcan^{2*} 

Özet: Sıcaklık artışı yeryüzündeki doğal ve beşerî sistemleri olumsuz bir şekilde etkilemektedir. Bu artışlar yeryüzünün tamamında aynı değerde olmamakla birlikte Türkiye'nin de içinde bulunduğu Akdeniz Havzası'nda uzun süreli ısınma eğilimi şeklinde gerçekleşeceği ön görülmektedir. Bu nedenle bu çalışmada idari sınırının bir bölümü İç Anadolu Bölgesinde bir bölümü Karadeniz Bölgesinde yer alan Çankırı ilinin maksimum ve minimum sıcaklık eğilimleri analiz edilmiştir. Çalışmada Mann-Kendall ve Sen Slope yöntemi kullanılmıştır. Analiz sonuçlarına göre maksimum sıcaklıklar istatistiksel olarak farklı anlamlılık düzeyinde artış eğilimine sahiptir. Bu artış eğiliminin zaman serisi içerisinde de farklı düzeylere ulaştığı tespit edilmiştir. Artış eğilimleri Çankırı ve Çerkeş'te 0.01 düzeyinde anlamlı iken, Ilgaz ve Kurşunlu'da 0.001 düzeyinde anlamlıdır. Bu anlamlı artışlar, analiz edilen istasyonlarda farklı zaman dilimlerinde başlayarak doğrusal olmayan, daha çok sıçrama ve dalgalanma şeklinde gerçekleşmiştir. Minimum sıcaklıklar ise Ilgaz dışındaki diğer istasyonlarda pozitif yönde anlamlı olmayan artış eğilimine sahiptir. Ilgaz istasyonunda ise anlamlı olmayan azalma eğiliminin yaşandığı tespit edilmiştir. Bu istasyondaki azalma eğiliminin ise anlamlı ve doğrusal olmayıp daha çok sıçrama ve dalgalanma şeklinde olduğu görülüp 2017 yılından sonra bir önceki yıla göre artış eğilimi gösterdiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çankırı, Sıcaklık Eğilimi, Mann Kendall ve Sen Slope

Maximum and Minimum Temperature Trends of Çankırı Province

Abstract: Increase in temperature adversely affects the natural and human systems on earth. Although these increases are not at the same level in the whole of the earth, it is predicted to be realised as a long-term warming trend in the Mediterranean Basin where Turkey is located. For this reason, in this study, the maximum and minimum temperature trends of Çankırı province, part of the administrative boundary of which is located in the Central Anatolia Region and part in the Black Sea Region, were analysed. Mann-Kendall and Sen Slope methods were used in the study. According to the results of the analyses, maximum temperatures have an increasing trend at statistically different significance levels. It was determined that this increasing trend reached different levels in the time series. While the increasing trends are significant at 0.01 level in Çankırı and Çerkeş, they are significant at 0.001 level in Ilgaz and Kurşunlu. These significant increases started at different time periods at the stations analysed and were non-linear, mostly in the form of jumps and fluctuations. Minimum temperatures have a non-significant positive increasing trend at all stations except Ilgaz. A non-significant decreasing trend was observed at Ilgaz station. The decreasing trend at this station is not significant and linear, but rather in the form of jumps and fluctuations, and it was determined that after 2017, it showed an increasing trend compared to the previous year.

Keywords: Çankırı, Temperature Trend, Mann Kendall and Sen Slope

Makale Bilgisi (Araştırma)

1 Çankırı Karatekin Üniversitesi, İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Çankırı/Türkiye

2 Çankırı Karatekin Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Coğrafya Anabilim Dalı, Çankırı/Türkiye

*Sorumlu yazar:

mustafarecepircan@gmail.com

Alıntı: Duman, N., İrcan, M.R., (2025), Çankırı İlinin Maksimum ve Minimum Sıcaklık Eğilimleri, Memba Su Bilimleri Dergisi. 11, (1) 73–83, <https://doi.org/10.58626/memba.1667371>

Başvuru Tarihi: 11 Şubat 2025

Kabul Tarihi: 26 Mart 2025

Yayın Tarihi: 28 Mart 2025

1. Giriş

Sıcaklık, iklim değişikliğiyle ilgili hazırlanan çalışmalarda kullanılan iklim parametreleri arasında yer almaktadır. Dünya'nın 4,6 milyar yıllık tarihi boyunca iklim birçok kez değişiklik göstermiştir. Ortalama sıcaklıkların 3-6°C arttığı dönemlere karşılık aynı derecelerde azaldığı dönemler de olmuştur (Gönençgil ve İçel, 2010: 1; Türkeş, 2013: 3). Geçmişte doğal olarak gelişen iklim sistemi, sanayi devrimi sonrasında insan kaynaklı artan sera etkisine bağlı olarak yeryüzünde uzun dalgalı ısınım yoluyla soğuma etkinliğini zayıflatıp *“Yerküre/atmosfer ortak sisteminin enerji dengesine”* pozitif katkılar yaparak radyatif zorlanmış sera etkisinin (kuvvetlenen sera etkisi) oluşmasına neden olmuştur (Türkeş, 2003; 2008: 31).

Sanayi devrimi sonrasında günümüze dünya nüfusu önemli ölçüde artarak 2022 yılında 8 milyar gibi büyük bir rakama ulaşmıştır. Daha konforlu bir hayat ve daha yüksek insan refahı seviyesi için insanlık daha fazla üretim yaparak yeryüzündeki doğal kaynakları hızlı bir şekilde tüketmeye başlamıştır (Şen vd., 2008: 83). Arz-talep ilişkisine bağlı olarak artan üretim faaliyetleri insanoğlunun daha fazla enerji harcayarak atmosfere petrol, kömür ve doğalgaz gibi fosil yakıtları, karbondioksit olarak salıp kuvvetlenmiş sera etkisinin oluşmasına neden olmaktadır. Sanayi devrimi öncesi atmosferde bulunan aylık karbondioksit miktarı yaklaşık olarak 280 ppm iken, bu durum 1958 yılında yaklaşık 315 ppm; 2012'de 394 ppm (Türkeş, 2012b: 4); Ekim 2024'te 421,73 ppm'e ulaştığı görülmektedir (NOAA, 2024).

Atmosferdeki karbondioksitin günümüzdeki durumu, yaklaşık 700 bin yıl öncesindeki doğal değişiminin üzerindedir. Sera gazındaki artışlar, *“Yerküre'nin gelen uzun dalga boyulu kızılötesi ısınım yoluyla soğuma etkinliğini zayıflatarak, onu daha fazla ısıtma eğilimindeki bir pozitif ısınım salıncığının oluşmasına”* neden olur. Antrajenik kökenli iklim değişikliğine ve küresel ısınmaya yol açan sera gazları çoğunlukla fosil kaynakların kullanılması, ulaştırma, sanayi, atık yönetimi, yanlış tarımsal etkinlikler ve arazi kullanımı değişikliklerinden kaynaklanır (Türkeş, 2012a: 4-5). Atmosferdeki sera etkisinin kuvvetlenmesi Yerküre'nin radyasyon dengesini bozarak küresel sıcaklıkların geçen 100 yılda 0,7 °C artış göstermesine ve son 50 yıllık dönemdeki artışların da daha anlamlı olmasına neden olmuştur (Şen vd. 2008: 84; Demir vd., 2008; Türkeş, 2008: 33; IPCC, 2007; Yang vd., 2011).

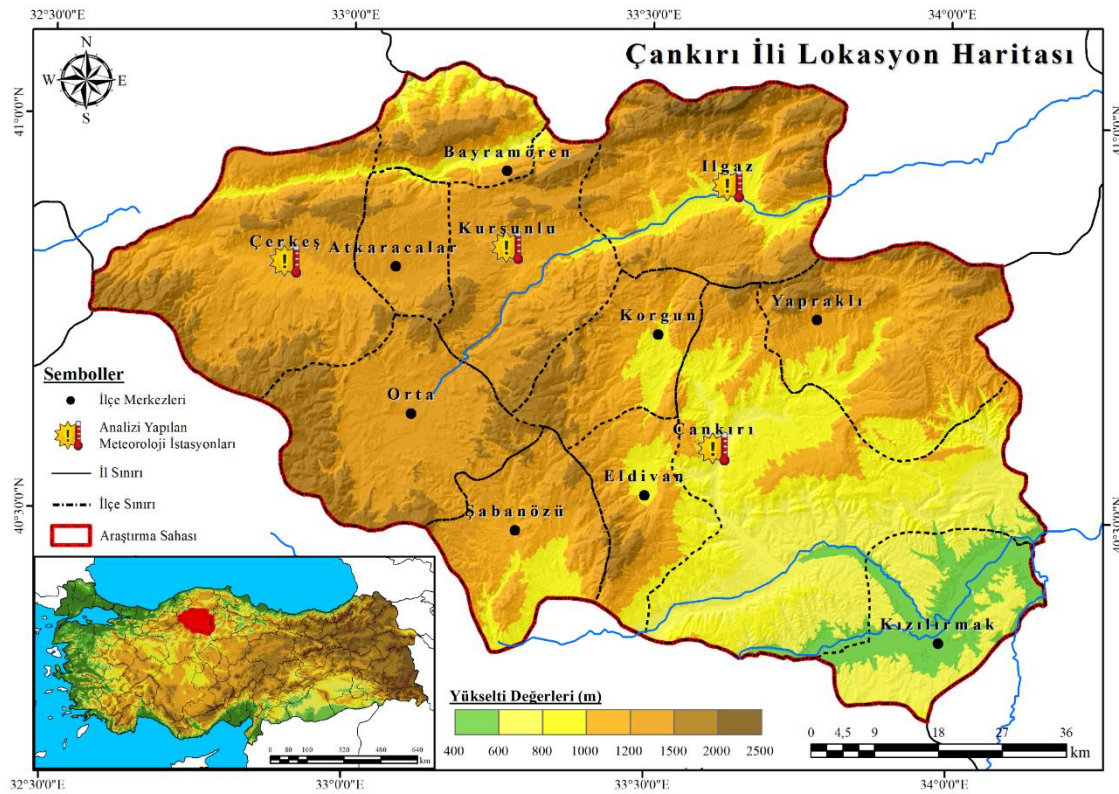
Ortalama yüzey sıcaklığında gözlenen ısınma eğiliminin yeryüzündeki dağılışı aynı olmamakla beraber, Akdeniz Havzası'nda uzun süreli ısınma eğilimi şeklinde etkili olacağı ön görülmektedir (IPCC, 2007; 2012; 2013; Cosun ve Karabulut, 2009: 42; Kızılelma vd., 2015: 2; Duman ve İrcan, 2021a; İrcan ve Duman, 2022). Bu havzadaki artış eğilimleri yerel/bölgesel olarak hazırlanmış birçok çalışmada (Türkeş, 1995; Kostopoulou ve Jones, 2005; Cosun ve Karabulut, 2009; Kuglitsch vd. 2010; Kızılelma vd. 2015; Polat ve Sunkar, 2017; Türkeş vd., 2002; Acar-Deniz ve Gönençgil, 2017; Acar vd., 2018; Erhat ve Güler, 2018; Acar, 2018; Avcı vd., 2019; Duman ve İrcan, 2021a: 516-517; İrcan ve Duman, 2022: 48-49; Topuz ve Karabulut, 2021; Durmuş vd., 2021; Esen, 2022) ve Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) (IPCC, 2007; 2012; 2013) raporlarında tespit edilmiştir. Ayrıca bu çalışmalarda Akdeniz Havzası'nın iklim değişikliği etkilerine karşı hassas olan alanlardan biri olduğu ifade edilmiştir (Acar, 2018; Kuglitsch vd., 2010; Maheras vd., 2006; WMO, 2016; Türkeş, 2012a; Türkeş vd., 2000; Türkeş, 2017; Duman ve İrcan, 2021a: 516-517; İrcan ve Duman, 2022: 48-49).

Bu çalışmada, Çankırı ilinin maksimum ve minimum sıcaklık eğilimleri ele alınıp yerel ölçekte değerlendirilmesinin yapılması amaçlanmıştır. Bu amaçla hazırlanan çalışma farklı araştırma alanlarına referans olacak nitelikte olup, yerel ve bölgesel ölçekte hazırlanacak diğer çalışılma bulgularıyla karşılaştırılarak sıcaklık artışlarındaki eğilimlerin açıklanması bakımından önemli bir yere sahiptir. Çalışmanın akışı itibarıyla veri ve yöntem başlığında çalışmada kullanılan veri seti ile yöntem hakkında bilgiler verilmiştir. Bulgular bölümünde analiz sonuçları açıklanmıştır. Sonuç bölümünde ise çalışmanın genel bir değerlendirmesi yapılmıştır.

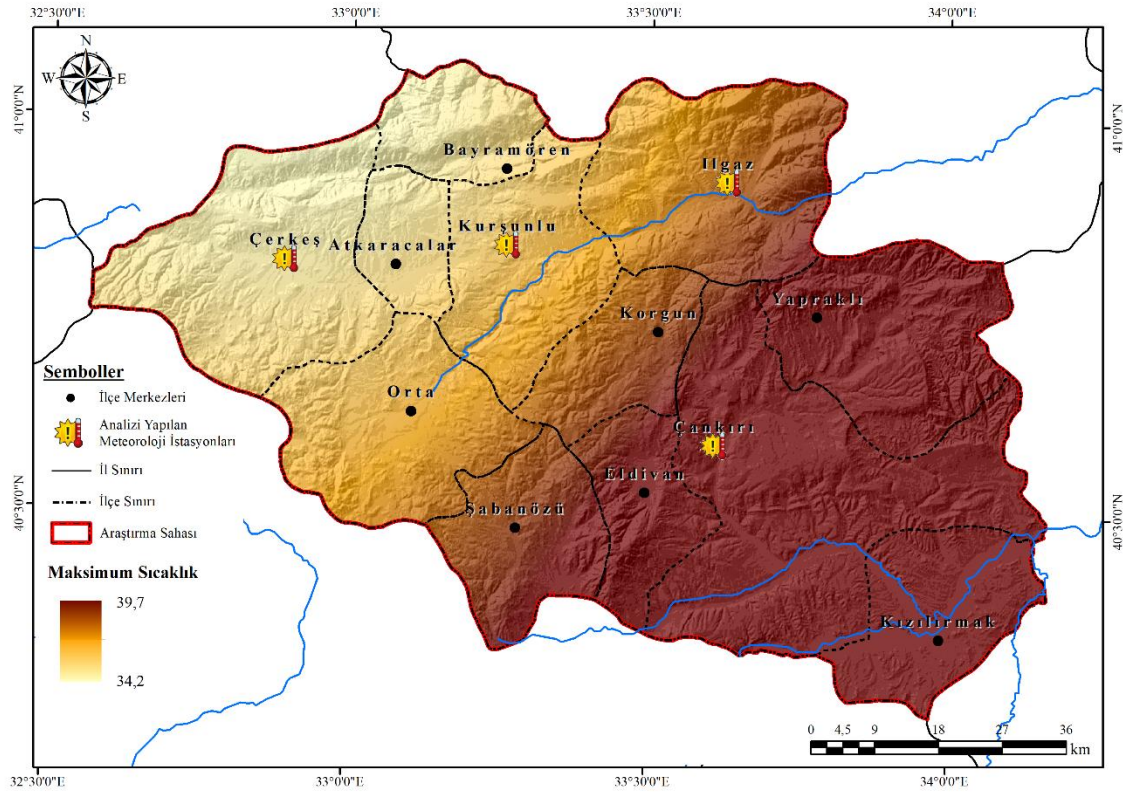
2. Materyal ve Metod

Çankırı, 40°16' - 41°04' kuzey enlemleriyle 32°34' - 34°08' doğu boylamları arasında yer alan ve genel olarak yarı kurak/yarı nemli iklim özelliklerine sahiptir (Duman ve İrcan, 2021b). Çalışmada kullanılan veriler Çankırı Meteoroloji Müdürlüğünden temin edilmiştir. İlgili veriler 1978-2020 yılı ortalama sıcaklık verileridir. Çankırı ilinde Çankırı, Çerkeş, Ilgaz ve Kurşunlu meteoroloji istasyonlarının maksimum ve minimum sıcaklık eğilimleri analiz edilmiştir (Şekil 1 ve Çizelge 1).

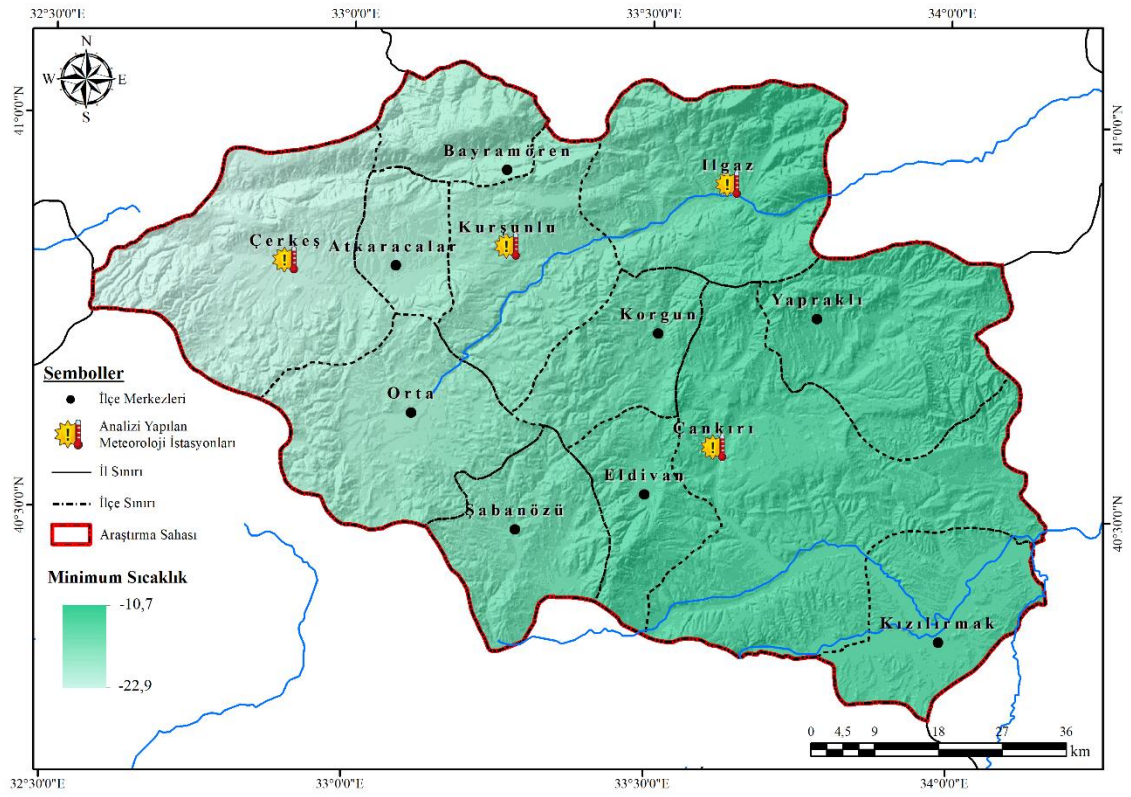
İstasyonlar	Enlem (K)	Boylam (D)	Yükselti (m)	Ölçüm Yılı
Çankırı	40° 36' 30"	33° 36' 37"	755 m	1978-2020
Çerkeş	40° 48' 54"	32° 53' 00"	1126 m	1978-2020
Ilgaz	40° 54' 56"	33° 37' 33"	885 m	1978-2020
Kurşunlu	40° 49' 58"	33° 16' 09"	1075 m	1988-2020



Buna göre Çankırı ilindeki maksimum ve minimum sıcaklık ortalamaları şu şekildedir: Maksimum sıcaklık ortalamaları; Çankırı'da 38,5°C; Çerkeş'te 34,5°C; Ilgaz'da 36,8; Kurşunlu'da 35,3°C'dir (Şekil 2). Minimum sıcaklık ortalamaları ise Çankırı'da -14,2°C; Çerkeş'te -21,8°C; Ilgaz'da -15,3; Kurşunlu'da -18,8°C'dir (Şekil 3).



Şekil 2. Araştırma sahasının maksimum sıcaklık haritası



Şekil 3. Araştırma sahasının minimum sıcaklık haritası

3. Bulgular

Bu bölümde araştırma sahasındaki maksimum ve minimum sıcaklık eğilimleri açıklanmıştır. Analizler sonucunda sıcaklıklardaki istatistiksel olarak anlamlı artma veya azalma eğiliminin olup olmadığı açıklanmıştır. Buna göre elde edilen Z değerinin kritik anlamlılık düzeyi %95 güven aralığında değerlendirilmiştir. Z değeri +1.96'ya eşit veya büyük ise anlamlı artan, -1.96'ya eşit veya küçük ise anlamlı azalma eğiliminin varlığı kabul edilmiştir. Z değeri ± 1.96 değerleri arasında ise istatistiksel olarak anlamlı olmayan eğilimin varlığı kabul edilmiştir (Duman ve İrcan, 2021a: 522).

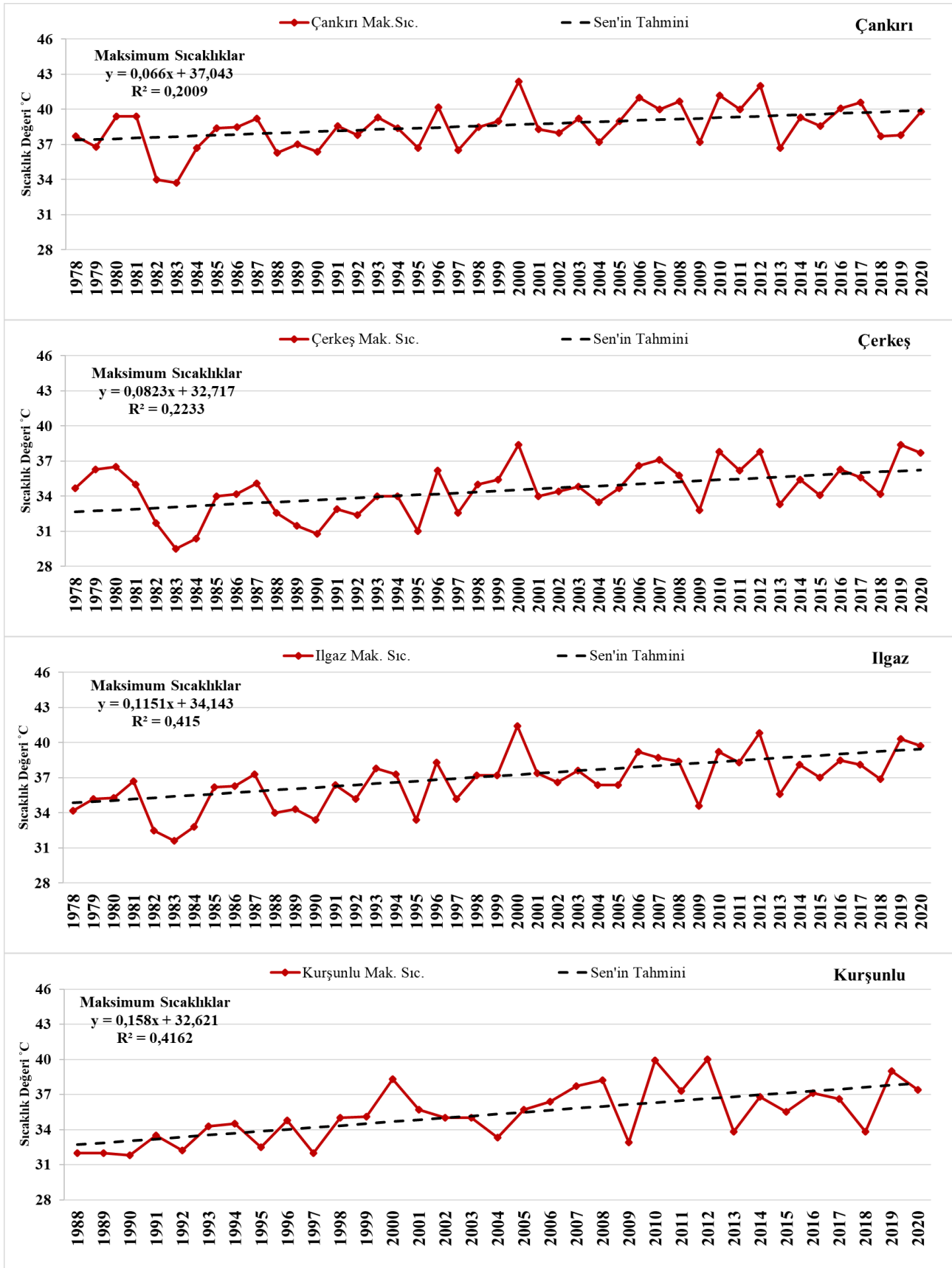
3.1. Maksimum sıcaklık eğilimleri

Araştırma sahasındaki eğilim denklemine göre maksimum sıcaklıklar anlamlı artışlar göstermektedir. Eğilimin en fazla olduğu istasyon Kurşunlu iken (M-K: 0,15°C/yıl; S: 0,16 °C/yıl), en az olduğu istasyon Çankırı (M-K: 0,07°C/yıl; S: 0,06 °C/yıl), istasyonudur. Bu durum Ilgaz'da M-K ve S'ye göre 0,11°C/yıl; Çerkeş'te M-K'ye göre 0,08°C/yıl; S'ye göre 0,09 °C/yıldır (Çizelge 2; Şekil 4). Maksimum sıcaklıklarda yaşanan artış eğilimi istasyonlara göre farklılık göstermektedir. Buna göre Çankırı ve Çerkeş istasyonlarında istatistiksel olarak 0.01 düzeyinde anlamlılık düzeyine sahip artış eğilimi görülürken, Ilgaz ve Kurşunlu'da 0.001 anlamlılık düzeyine sahip artış eğilimi görülmektedir (Çizelge 2).

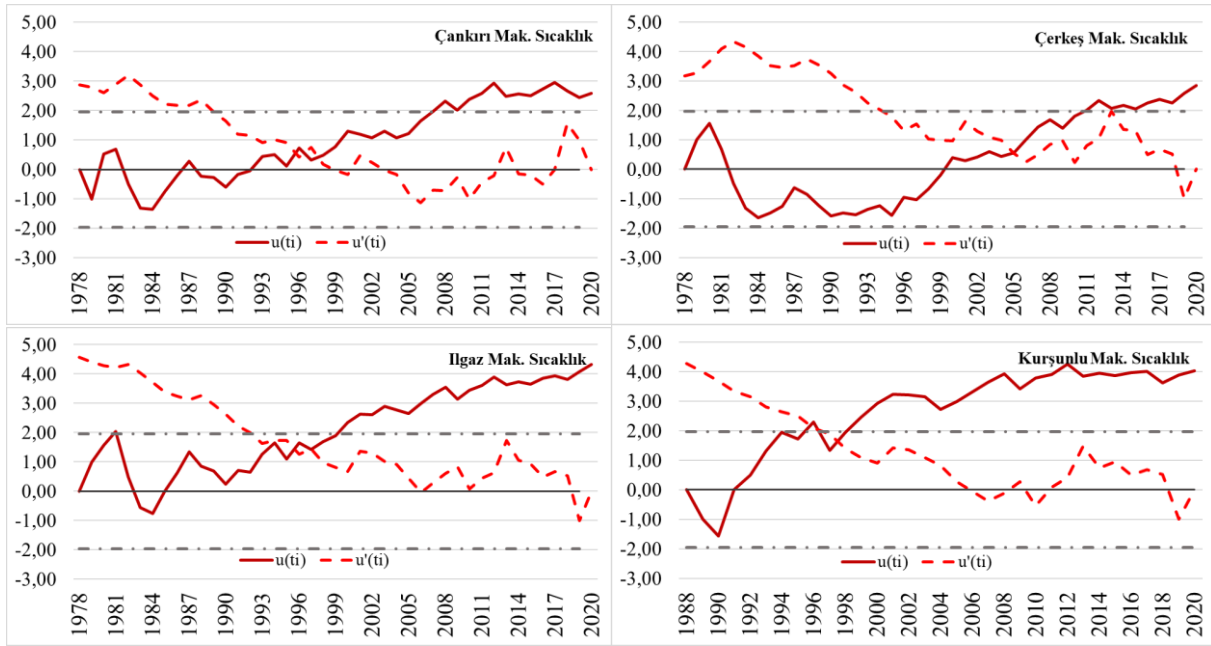
İstasyonlar	Mann Kendall	Sen Slope	Eğilim Yönü
Çankırı	2,72**	0,060	↑
Çerkeş	3,01**	0,086	↑
Ilgaz	4,44***	0,110	↑
Kurşunlu	4,14***	0,164	↑

Çizelge 2. Araştırma sahasındaki istasyonların maksimum sıcaklık eğilimleri (*: 0,05; düzeyinde; **:0,01 düzeyinde; *:0,001 düzeyinde anlamlılığı; ↑: Artma, ↓: Azalma eğilimini ifade etmektedir).**

Maksimum sıcaklıklardaki değişimler $u(t_i)$ ve $u'(t_i)$ grafiğine göre bir bütün halinde değerlendirildiğinde sıcaklıkların artış eğiliminde olduğu tespit edilmiştir. Bu artışın zaman serisi içeisinde istasyonlara göre farklı yıllarda farklı anlamlılık düzeylerine ulaştığı görülmektedir. Bu durum Çankırı istasyonunda 2007 (yaklaşık olarak 2007-2010 yılları arasında 0.05; 2011-2020 yılları arasında ise 0.01 düzeyinde anlamlıdır); Çerkeş'te 2011 (yaklaşık olarak 2011-2018 yılları arasında 0.05; 2019-2020 yıllarında ise 0.01 düzeyinde anlamlıdır); Ilgaz'da 2000 (yaklaşık olarak 2000-2001 yıllarında 0.05; 2002 ve 2006 yılları arasında 0.01; 2006-2020 yılları arasında 0.001 düzeyinde anlamlıdır); Kurşunlu'da 1999 (yaklaşık olarak 1999 yılında 0.05; 2000 ve 2005 yılları arasında 0.01; 2006-2020 yılları arasında 0.001 düzeyinde anlamlıdır) yılından sonra genel olarak doğrusal olmayıp daha çok sıçrama ve dalgalanma şeklinde anlamlı artışlar göstermektedir (Şekil 5).



Şekil 4. Araştırma sahasındaki istasyonların maksimum sıcaklık eğilimleri



Şekil 5. Araştırma sahasındaki istasyonların maksimum $u(ti)$ - $u'(ti)$ sıcaklık dizilerindeki eğilimler

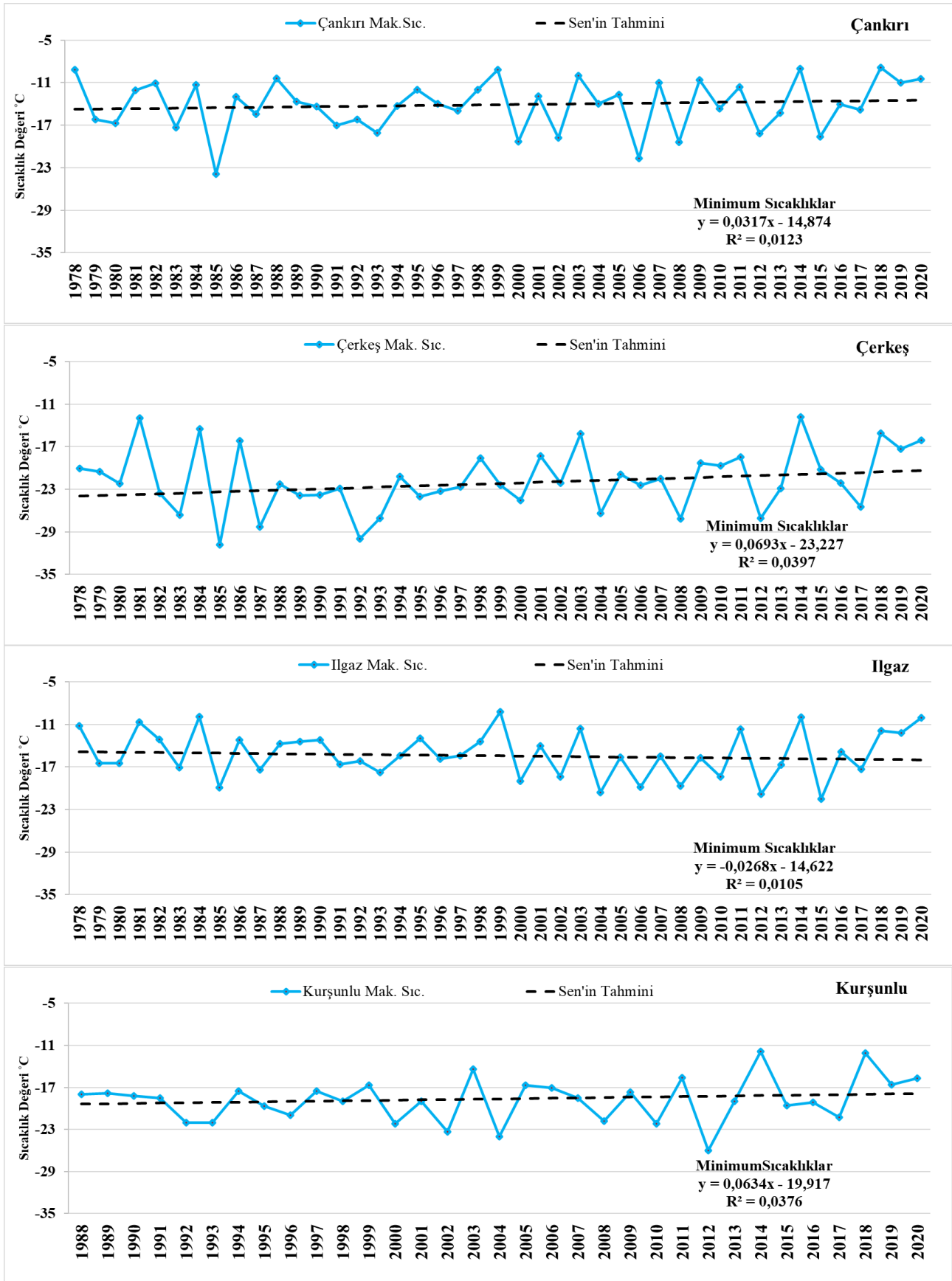
3.2. Minimum sıcaklık eğilimleri

Araştırma sahasındaki istasyonların eğilim denklemine göre minimum sıcaklıklar Ilgaz dışında pozitif yönde anlamlı olmayan artış eğilimi göstermektedir. Bu durum Ilgaz istasyonunda ise anlamlı olmayan azalma eğilimi (M-K ve S'ye göre $-0,03^{\circ}\text{C/yıl}$) göstermektedir. Artış eğilimin en fazla olduğu istasyon Çerkeş iken (M-K: $0,07^{\circ}\text{C/yıl}$; S: $0,09^{\circ}\text{C/yıl}$), en az olduğu istasyon Çankırı (M-K: $0,03^{\circ}\text{C/yıl}$; S: $0,03^{\circ}\text{C/yıl}$), istasyonudur. Bu durum Kurşunlu'da M-K'ye göre $0,06^{\circ}\text{C/yıl}$; S'ye göre $0,05^{\circ}\text{C/yıl}$ (Çizelge 3; Şekil 6).

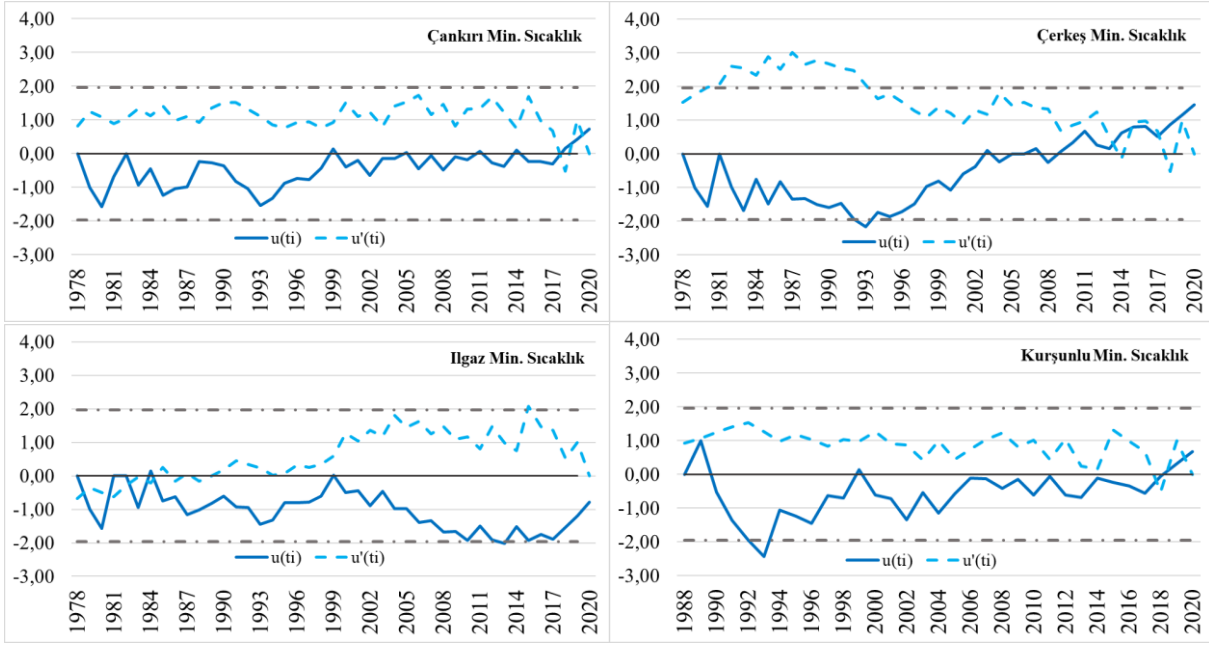
İstasyonlar	Mann Kendall	Sen Slope	Eğilim Yönü
Çankırı	0,76	0,031	↑
Çerkeş	1,49	0,086	↑
Ilgaz	-0,72	-0,027	↓
Kurşunlu	0,79	0,046	↑

Çizelge 3. Araştırma sahasındaki istasyonların minimum sıcaklık eğilimleri (*: $0,05$ düzeyinde; **: $0,01$ düzeyinde; ***: $0,001$ düzeyinde anlamlılığı; ↑: Artma, ↓: Azalma eğilimini ifade etmektedir).

Minimum sıcaklıklardaki değişimler $u(ti)$ ve $u'(ti)$ çizimlerine göre bir bütün halinde değerlendirildiğinde sıcaklıkların Ilgaz istasyonu dışında anlamlı olmayan artış eğiliminde olduğu görülmektedir (Anlamlı azalmaların yaşandığı dönemler Çerkeş'te 1993; Ilgaz'da 2013; Kurşunlu'da 1992-1993 yılıdır). Ilgaz istasyonunda 1999 yılından itibaren genel olarak doğrusal olmayıp daha çok sıçrama ve dalgalanma şeklinde anlamlı olmayan azalma eğilimi 2017 yılından sonra bir önceki yıla göre artış eğilimi göstermektedir (Şekil 7).



Şekil 6. Araştırma sahasındaki istasyonların minimum sıcaklık eğilimleri



Şekil 7. Araştırma sahasındaki istasyonların minimum $u(ti)$ - $u'(ti)$ sıcaklık dizilerindeki eğilimler

4. Sonuç

Sıcaklık iklimin en önemli elemanlarından biri olması nedeniyle iklim değişikliği üzerine hazırlanan birçok çalışmada sıcaklık eğilim analizi yapılmaktadır. Gerek iklim değişikliğine bağlı yaşanacak sıcaklık artışlarıyla ilgili çalışmalarda gerekse Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli tarafından hazırlanan değerlendirme raporlarında Türkiye'deki yıllık ortalama sıcaklıkların sadece sera gazlarındaki artışlar dikkate alındığında 2050 yılına kadar, 1°C ile 3 °C arasında artacağı, bu durum sera gazlarındaki değişimler ile sülfat parçacıklarındaki değişimlerle birlikte değerlendirildiğinde, 1 °C ile 2 °C arasında bir artış şeklinde gelişeceği öngörülmektedir. 1975 ile 2009 yılları arasındaki dönemde Türkiye'de 1,01°C sıcaklık artışının yaşandığı, bu artışın da 2009'dan sonraki devam eden 15 yıllık süreçte 0,3°C artarak devam edeceği öngörülmektedir (İçel ve Ataol, 2014: 67).

Çankırı ilindeki (Çankırı, Çerkeş, Ilgaz ve Kurşunlu) meteoroloji istasyonlarının maksimum ve minimum sıcaklık analizi sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde, maksimum sıcaklıklar tüm istasyonlarda anlamlı artış eğilimindedir. Maksimum sıcaklıklardaki artış eğilimi Çankırı ve Çerkeş'te 0.01; Ilgaz ve Kurşunlu'da 0.001 düzeyinde anlamlıdır. Minimum sıcaklıklar ise Ilgaz dışındaki diğer istasyonlarda anlamlı olmayan artış eğilimine sahiptir. Ilgaz'da ise anlamlı olmayan azalma eğilimi görülmektedir.

Çalışmadan elde edilen sonuçlar, sıcaklıklarda artış eğilimi göstermesi bakımından Türkiye ölçeğinde hazırlanan çalışmalarla paralellik göstermektedir. Yaşanan sıcaklık artışları iklim değişikliği etkileriyle ilişkili olabileceği gibi doğal alanların tahribatı, şehirleşme, insan kaynaklı etmen ve süreçle de ilişkili olarak sıcaklık artışlarının daha kuvvetli hale gelmesine neden olabilmektedir.

5. Teşekkür

Yazarlar, değerlendirme sürecinde yapıcı öneriler sunan hakemlere teşekkür eder.

6. Etik Standartlara Uygunluk

a) Yazar Katkıları

Çalışmanın tasarımı, analizi, yorumlanması, haritalandırılması, yazımı ve düzenlenmesi N.D ve M.R.İ tarafından yapılmıştır.

b) Çıkar Çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan ettiler.

7. Kaynakça

- Acar, Z. (2018). İç Anadolu Bölgesi'nin ekstrem sıcaklık özellikleri. *Türk Coğrafya Dergisi*, 70, 93-99.
- Acar-Deniz, Z., & Gönençgil, B. (2017). Türkiye sıcaklık ekstremlerindeki değişkenlikler. *Coğrafya Dergisi*, 35, 41-54. <https://doi.org/10.26650/JGEOG347083>.
- Acar, Z., Gönençgil, B., & Korucu-Gümüsoğlu, N. (2018). Long-Term Changes in Hot and Cold Extremes in Turkey. *Coğrafya Dergisi*, (37), 57-67.
- Avcı, V., Sunkar, M., & Toprak, A. (2019). Ağrı-Eleşkirt Ovası'nda Sıcaklık ve Yağış Değerlerinde Görülen Eğilimlerin Analizleri (1969-2017). V. Uluslararası Ağrı Dağı ve Nuh'un Gemisi Sempozyumu, 16-18 Ekim 2019, Ağrı
- Cosun, F., & Karabulut, M. (2009). Kahramanmaraş'ta ortalama, minimum ve maksimum sıcaklıkların trend analizi. *Türk Coğrafya Dergisi*, 53, 41-50. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tcd/issue/21228/227810>
- Demir, İ., Kılıç, G., Coşkun, M., & Sümer, U. M. (2008). Türkiye'de Maksimum, Minimum ve Ortalama Hava Sıcaklıkları ile Yağış Dizilerinde Gözlenen Değişiklikler ve Eğilimler. TMMOB İklim Değişimi Sempozyumu Bildiriler kitabı içinde, 69-84 Ankara.
- Duman, N., & İrcan, M. R. (2021a). Şanlıurfa İlinin Yağış-Sıcaklık Eğilimleri. *Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 54, 515-536.
- Duman, N., & İrcan, M.R. (2021b). Çankırı ilinin iklimi. Türkan, O., Kale, M.M. (Ed.). *Çankırı Coğrafya Araştırmaları içinde* (39-78). Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık.
- Durmuş, B., Bulut, İ., & Gönençgil, B. (2021). Antalya Bölümünde sıcaklık ve yağış indislerinin değişim analizleri. *Türk Coğrafya Dergisi*, (78), 91-108. <https://doi.org/10.17211/tcd.1009270>
- Erlat, E. & Güler, H. (2018). Türkiye'de Sıcaklık Ekstremlerinin Sürelerinde Gözlenen Değişim ve Eğilimler (1950-2017). *Ege Coğrafya Dergisi*, 27 (2), 135-148.
- Esen, F. (2022). Tunceli iklim parametrelerine ait zaman serilerinin farklı istatistiksel analiz yöntemleriyle değerlendirilmesi. *Türk Coğrafya Dergisi*, (81), 7-22. DOI: 10.17211/tcd.1151639
- Gocic, M., & Trajkovic, S. (2013). Analysis of changes in meteorological variables using Mann-Kendall and Sen's slope estimator statistical tests in Serbia. *Global and Planetary Change*, 100, 172–182. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2012.10.014>
- Gönençgil, B. & İçel, G. (2010). Türkiye'nin Doğu Akdeniz kıyılarında yıllık toplam yağışlarda görülen değişimler (1975-2006). *Türk Coğrafya Dergisi*, 55, 1-12.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2007). Climate change 2007-The physical science basis. In S. Solomon, Qin, D., M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor, & H. L. Miller (Eds.), Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.: Cambridge University Press.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2012). Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation. In C. B. Field, V. Barros, T. F. Stocker, D. Qin, D. J. Dokken, K. L. Ebi, M. D. Mastrandrea, K. J. Mach, G.-K. Plattner, S. K. Allen, M. Tignor, & P. M. Midgley (Eds.), A special report of working groups I and II of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge, UK, and New York, NY, USA: Cambridge University Press.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2013). Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (T. F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, & P. M. Midgley Eds.). Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press.
- İçel, G., & Ataoğlu, M. (2014). Türkiye'de Yıllık Ortalama Sıcaklıklar ile Yağışlarda Eğilimler ve NAO Arasındaki İlişkileri (1975-2009). *Coğrafya Dergisi*, 28, 55-68. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/iucografya/issue/25073/264641>
- İrcan, M. R., & Duman, N. (2022). Van Gölü Havzası'ndaki maksimum ve minimum sıcaklıkların trend analizi. *Türk Coğrafya Dergisi*, (80), 39-52. <https://doi.org/10.17211/tcd.1079628>
- Kendall, M. G. (1975). Rank correlation methods. Oxford, England London: Charles Griffin.
- Kostopoulou, E., & Jones, P. (2005). Assessment of climate extremes in the Eastern Mediterranean. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 89, 69-85. <https://doi.org/10.1007/s00703-005-0122-2>
- Kızılelma, Y., Çelik, M. & Karabulut, M. (2015). İç Anadolu Bölgesinde sıcaklık ve yağışların trend analizi. *Türk Coğrafya Dergisi*, (64), 1-10. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tcd/issue/21271/228382>
- Kuglitsch, F.G., Toreti, A., Xoplaki, E., Della-Marta, P.M., Zerefos, C.S., Türkeş, M. & Luterbacher, J. (2010) Heat wave changes in the Eastern Mediterranean since 1960. *Geophysical Research Letters*, 37(4), L04802.
- Maheras, P., Flocas, H., Tolika, K., Anagnostopoulou, C. & Vafiadis, M. (2006). Circulation types and extreme temperature changes in Greece. *Climate Research*, 30(2), 161–174.
- Mann, H. B. (1945). Non-parametric test against trend. *Econometrika*, 13, 245-259.

- NOAA, (2024). 22 Aralık 2024 tarihinde “<https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/global.html>” adresinden erişildi.
- Polat, P. & Sunkar, M. (2017). Rize'nin İklim Özellikleri ve Rize Çevresinde Uzun Dönem Sıcaklık ve Yağış Verilerinin Trend Analizleri. *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 27 (1), 1-24. DOI: 10.18069/firatsbed.346684
- Salehi, S., Dehghani, M., Mortazavi, S. M., & Singh, V. P. (2019). Trend analysis and change point detection of seasonal and annual precipitation in Iran. *International Journal of Climatology*, 40(1), 308-323. <https://doi.org/10.1002/joc.6211>
- Salmi T., Määttä A., Anttila P., Ruoho-Airola T. & Amnell T. (2002). Detecting trends of annual values of atmospheric pollutants by the Mann-Kendall Test and Sen's Slope Estimates -the excel template application Makesens. Helsinki: Finnish Meteorological Institute Publications on Air Quality No. 31.
- Sneyers, R. (1990) On the Statistical Analysis of Series of Observations, WMO Technical Note, No. 143, Geneva: World Meteorological Organization (WMO).
- Sen, P. K. (1968). Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association*, 63(324), 1379–1389. <https://doi.org/10.1080/01621459.1968.10480934>
- Şen, Ö. L., Kindap, T. & Bozyurt, D. (2008). Küresel ısınma ve Türkiye, iyimser senaryo. *Yeşil Atlas*, 11, 80-89.
- Topuz, M. & Karabulut, M. (2021). Doğu Anadolu Bölgesinde kar örtülü gün ve kar yağışlı günler sayısının eğilim analizi (1970-2020). *Doğu Coğrafya Dergisi*, 26 (46), 1-24.
- Türkeş, M. (1995). Türkiye’de yıllık ortalama hava sıcaklıklarındaki değişimlerin ve eğilimlerin iklim değişikliği açısından analizi. *Çevre ve Mühendislik Dergisi*, 9, 9-15.
- Türkeş, M. (1996) Spatial and Temporal Analysis of Annual Rainfall Variations in Turkey, *International Journal of Climatology*, 16, 1057-1076.
- Türkeş, M., Sümer, U. M. & Demir, İ. (2002). “Türkiye’nin günlük ortalama maksimum ve minimum sıcaklıkları ile sıcaklık genişliğindeki eğilimler ve değişiklikler”. Prof. Dr. Sırrı Erinç Adına Klimatoloji Çalıştayı Bildiriler Kitabı, 89-106.
- Türkeş, M. (2003). Küresel iklim değişikliği ve gelecekteki iklimimiz. 23 Mart Dünya Meteoroloji Günü Kutlaması Gelecekteki İklimimiz Paneli, Bildiriler kitabı içinde, (s. 12-37), (Ed.: M. Türkeş), T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, 23 Mart 2003, Ankara.
- Türkeş, M. (2008), Küresel iklim değişikliği nedir? Temel kavramlar, nedenleri, gözlenen ve öngörülen değişiklikler, *İklim Değişikliği ve Çevre*, 1, 26-37.
- Türkeş, M. (2012a). Türkiye’de gözlenen ve öngörülen iklim değişikliği, kuraklık ve çölleşme. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 4(2), 1-32.
- Türkeş, M. (2012b). Kuraklık, çölleşme ve Birleşmiş Milletler Çölleşme ile Savaşım Sözleşmesi’nin ayrıntılı bir çözümlemesi. *Marmara Avrupa Araştırmaları Dergisi*, 20 (1), 7-55.
- Türkeş, M. (2013). İklim Değişiklikleri: Kambriyen’den Pleyistosen’e, Geç Holosen’den 21.Yüzyıla. *Ege Coğrafya Dergisi*, 22(1), 1-25.
- Türkeş, M. (2017). Türkiye’nin iklimsel değişkenlik ve sosyo-ekolojik göstergeler açısından kuraklıktan etkilenebilirlik ve risk çözümlemesi. *Ege Coğrafya Dergisi*, 26 (2), 47-70.
- Türkeş, M., Sümer, U. M. & Çetiner, G. (2000). Küresel iklim değişikliği ve olası etkileri, Çevre Bakanlığı, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi seminer notları. 13 Nisan 2000, İstanbul Sanayi Odası, 7-24, ÇKÖK Gn. Md., Ankara.
- World Meteorological Organization (WMO). (2016). WMO Statement on the status of the global climate in 2015. WMO - No.1167. WMO: Author.
- Yang, K., Ye, B., Zhou, D., Wu, B., Foken, T., Qin, J. & Zhou, Z. (2011). Response of hydrological cycle to recent climate changes in the Tibetan Plateau. *Climatic Change*, 109, 517–534.

Muş'da Küresel İklim Değişikliğinin Etkisiyle Sıcaklık, Yağış ve Bunlara Bağlı Olarak İklim Tiplerinde Meydana Gelebilecek Değişiklikler

Sevgi Karahan^{1*} 

Özet: Küresel iklim değişikliği, dünya genelinde özellikle sıcaklık artışı ve yağışlardaki azalmayla birlikte iklimlerde kuraklaşmaya sebep olacak, dünyadaki bütün canlıları ve ekosistemleri etkileyecek, geri dönüşü olmayan en önemli küresel sorun olarak gösterilmektedir. Su kaynakları üzerinde büyük baskı oluşturan ve durdurulması mümkün görülmeyen bu sürecin olası etkilerinin belirlenebilmesi için öncelikle iklim tiplerindeki değişimin tahmin edilmesi ve sürecin gelişimine göre sektörel bazda

önlemler alınması önerilmektedir. Bu noktadan hareketle çalışmada Muş ili genelinde günümüzdeki sıcaklık, yağış ve iklim tiplerinin (De Martone ve Emberger iklim sınıflandırmasına göre) durumu belirlenmiş, SSP2 4.5 ve SSP5 8.5 senaryolarına göre 2060 ve 2100 yıllarına kadar olan süreçte bu parametrelerin nasıl değişeceği belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışma sonucunda Muş il genelinde büyük oranda sıcaklık artışı olacağı, iklim tiplerinin kurak iklim tiplerine doğru kayacağı öngörülmektedir. Bu değişimin etkilerinin büyük oranda bitkiler üzerinde görüleceği, tarım, orman ve mera alanlarındaki etkilerin, ekonomisi büyük oranda tarım ve hayvancılığa bağlı ilde yıkıcı sonuçları olacağı tahmin edilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Küresel iklim değişikliği, Muş, SSPs senaryoları, De Martone, Emberger

Possible Changes in Temperature, Precipitation and Climate Types Due to Global Climate Change in Muş

Abstract: Global climate change is shown as the most important global problem that will cause drought in climates, especially with the increase in temperature and decrease in precipitation worldwide, and will affect all living things and ecosystems in the world. In order to determine the possible effects of this process, which creates great pressure on water resources and seems impossible to stop, it is recommended that the change in climate types should be estimated first and sectoral measures should be taken according to the development of the process. Starting from this point, the study determined the current temperature, precipitation and climate types (according to De Martone and Emberger climate classification) in Muş province, and tried to determine how these parameters will change in the process until 2060 and 2100 according to the SSPs 245 and SSPs585 scenarios. As a result of the study, it is predicted that there will be a significant increase in temperature in Muş province and the climate types will shift towards arid climate types. It is estimated that the effects of this change will be seen largely on plants, and the effects on agricultural, forest and pasture areas will have devastating results in the province, whose economy is largely dependent on agriculture and animal husbandry.

Keywords: Global Climate Change, Mus, SSPs Scenarios, De Martone, Emberger

Makale Bilgisi (Araştırma)

1 Uşak Üniversitesi, İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Uşak / Türkiye

*Sorumlu yazar:
sevgi.tatar@usak.edu.tr

Alıntı: Karahan, S. (2025). Muş'da Küresel İklim Değişikliğinin Etkisiyle Sıcaklık, Yağış ve Bunlara Bağlı Olarak İklim Tiplerinde Meydana Gelebilecek Değişiklikler, Memba Su Bilimleri Dergisi. 11, (1) 84–95.

<https://doi.org/10.58626/memba.1644673>

Başvuru Tarihi: 21 Şubat 2025

Kabul Tarihi: 25 Mart 2025

Yayın Tarihi: 28 Mart 2025

1. Giriş

Son yüzyılda yaşanan sanayi devrimi, dünya genelinde önemli ve kalıcı değişikliklere sebep olmuştur. Sanayi faaliyetlerinde hammadde olarak kullanılmak üzere çeşitli elementlerin maden yataklarından çıkartılarak doğaya salınımı sonucunda su (Uncumusaoğlu ve Mutlu, 2021; İpek vd., 2024), toprak (İstanbul vd., 2023; Gültekin vd., 2025) ve hava (Özel vd., 2024; Isinkaralar vd., 2025a) önemli derecede kirlenmiştir. Bu ortamlardaki kirlilik etmenleri birbirini de etkileyerek sınırlı olan kaynaklar üzerinde önemli baskıya sebep olmuştur. Örneğin kentsel alanlarda antropogenik kaynaklı olarak havaya karışan, ağır metaller başta olmak üzere çeşitli kirleticiler, havanın insan sağlığını ciddi oranda tehdit edecek derecede kirlenmesine sebep olmuştur (Ghoma vd., 2023; Bayraktar vd., 2024; Koc vd., 2025). Havadaki bu kirleticiler yerçekiminin etkisiyle su ve toprağı da kirletmiş, su iyi bir çözücü olması dolayısıyla su içerisinde çözünen kirleticiler nehirler, göller ve yeraltı sularındaki kirliliğin artmasına sebep olmuştur (Mutlu ve Aydın Uncumusaoğlu, 2018; Şimşek ve Mutlu, 2023; Tokatlı vd., 2024).

Su, bütün canlıların yaşamı için temel ve vazgeçilmez bir kaynaktır. Dünyanın 3/4'ü kaplı olmasına rağmen su ile bunun sadece %2,5'u tatlı sudur ve tatlı suyun %70'i buzullarda, toprakta, atmosferde ve yer altı sularında kullanılamaz haldedir (Mutlu ve Uncumusaoğlu, 2024). Bundan dolayı su kaynakları üzerinde baskı öncelikle kirlilik dolayısıyla sürekli artmaktadır ve kirlilik günümüzde dünya genelindeki en önemli sorunların başında gelmektedir (Emin ve Mutlu vd., 2024; Demir vd., 2024).

Su kaynakları üzerindeki bir diğer baskı unsuru da küresel iklim değişikliğidir (Gur vd., 2024). Küresel iklim değişikliği, kenteleşme ile birlikte son yüzyılda sanayi faaliyetlerine bağlı olarak ortaya çıkan ve artık geri döndürülemez olarak kabul edilen en önemli küresel sorunlardır (Dogan vd., 2023; Isinkaralar vd., 2025b). Küresel iklim değişikliği, iklimde kalıcı ve rijid değişikliklere sebep olan, bu sebeple de dünya üzerindeki bütün canlıları ve ekosistemleri etkilemesi kaçınılmaz olan bir süreçtir (Arıca vd., 2024). Çünkü canlıların bütün fenotipik karakterleri genetik yapıları (Şevik vd., 2012; Yaşar İsmail vd., 2025) ile çevre şartlarına (Kalaycı Onac vd., 2021; Cobanoğlu vd., 2023; Tandogan vd., 2023) bağlı olarak şekillenmektedir. Çevre şartları içerisinde en etkin olan ise şüphesiz yağış ve sıcaklık gibi iklimatik faktörlerdir (Isinkaralar vd., 2024; Şevik vd., 2025). Bundan dolayı iklimde meydana gelebilecek kalıcı değişikliklerin dünya üzerindeki bütün canlıları etkilemesi kaçınılmazdır.

Küresel iklim değişikliğinin geri döndürülemez bir süreç olduğu artık kabul edilmektedir. Bundan dolayı sürecin iklim parametreleri üzerine etkilerinin belirlenerek sürece adapte olunması bir zorunluluktur (Koç, 2021a, Ertürk vd., 2024a,b). Bu noktadan hareketle, bu çalışmada da ülkemizin büyük kentlerinden birisi olan Muş'da günümüzdeki iklim tiplerinin 2060 ve 2100 yıllarına kadar olan süreçte farklı iklim senaryolarına göre nasıl değişeceğinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metod

Çalışmanın yapıldığı Muş ili Türkiye'nin ekonomik açıdan geri kalmış illerindendir. İl ekonomisi tarım ve hayvancılığa dayalıdır. Toplam 819.600 hektar olan il yüzölçümünün 342.198 hektarı tarım arazisidir. Tarım arazisinin 335.049 hektarı tarla arazisi, 7.149 hektarı da bağ-bahçedir. Bu arazinin de sadece 158.215 hektarı sulanabilir arazidir (Muş İl Milli Eğitim Müdürlüğü, 2025). Dolayısıyla küresel iklim değişikliğinin, ilin başlıca geçim kaynağı olan tarıma ve dolayısıyla hayvancılığa etkisinin yıkıcı düzeyde olacağı düşünülmektedir. Çünkü bitkiler besin piramidinin temelini oluşturan canlılardır (Yigit vd., 2021; Şevik vd., 2024) ve hayvancılık da büyük oranda bitki besin kaynaklarına dayalıdır. Bitkilerin de etkin bir hareket kabiliyetine sahip olmamaları dolayısıyla küresel iklim değişikliğinden en fazla etkilenecek canlı grubu olduğu sıklıkla dile getirilmektedir (Çobanoğlu vd., 2023). Bu sebeple Muş'un küresel iklim değişikliğinden ileri düzeyde etkileneceği tahmin edilmektedir.

Çalışma kapsamında Muş il genelinin tamamında SSPs 245 ve SSPs 585 senaryolarına göre öncelikle sıcaklık ve yağış değişim haritaları oluşturulmuş, daha sonra De Martone ve Emberger iklim sınıflarına göre iklim tiplerinin değişimleri belirlenmiştir. Seçilen iklim sınıflandırmaları, bilimsel çalışmalarda en çok rağbet gören ve küresel iklim değişikliği ile ilgili çalışmalarda en sık kullanılan iklim sınıflandırmasıdır (Koç, 2021a,b; Gur vd., 2024).

Çalışmada, stratokümüülüsün Centre National de Recherches Météorologiques model versiyon 6 (CNRM-CM6-1) 2,5 dakika mekansal çözünürlüklü özellikli iklim modelinin atmosferik bileşen temsili kullanılmıştır. Günümüz için nihai mutabakat haritası ve WorldClim v2.1 projesinden indirilen gelecekteki beklenen açıklayıcı değişkenler, ArcGIS 10.5 aracılığıyla yeniden sınıflandırılan 21. yüzyıl boyunca senaryo haritalarının oluşturulması için temel oluşturmuştur. Çalışma kapsamında seçilen iki adet SSP2 4.5 (4.5 W/m²- an intermediate) ve SSP5 8.5 (8.5 W/m²- the most extreme) senaryoları ile üç ayrı periyotta (günümüz, 2060 ve 2100) iklim parametreleri ve iklim tipleri değişimi tahminleri yapılmıştır. Bu senaryolar insan faaliyetlerinden kaynaklanan ve sera gazları ile kirleticilerin konsantrasyonunu temsil etmektedir.

Çalışma kapsamında tercih edilen iklim sınıflandırmasından De-Martonne iklim sınıflandırması (1929), yıllık ortalama sıcaklık, yıllık ortalama yağış toplamı; ocak ve temmuz aylarında görülen sırasıyla en yüksek sıcaklık ortalamaları ve en düşük sıcaklık ortalamaları, bu ortalamaların farkına dayanır. Yıllık yağış miktarı yağışlı ve kurak iklimleri birbirinden ayırt eder. Kuraklık, yağış miktarıyla birlikte buharlaşma faktörü olarak karşımıza çıkan sıcaklıkla da bağlantılıdır. Çalışma kapsamında kullanılan De Martonne, sınıflandırma formülleri aşağıda verilmiştir (Akman, 1990).

De Martonne Formülü:

$$IM=P/(T+10)$$

P: Yıllık Ortalama Toplam Yağış

T: Yıllık Ortalama Sıcaklık (°C)

De Martonne iklim indis değerlerine göre iklim formülleri Coğrafi Bilgi Sistemleri programlarından biri olan Arc GIS 10.5 yazılımıyla uygulanmış ve Muş genelinde iklim modelleri indis değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan iklim modelleri indis değerlerine göre (Tablo 1) yeniden sınıflandırma (reclassify) işlemi uygulanmış ve iklim sınıflandırma indislerine göre Haritalar oluşturulmuştur.

Tablo 1. Muş'da iklim indis değerleri

Hesaplanan değer	İklim sınıfı
0-10	Kurak
10,1-20	Yarı Kurak
20,1-24	Akdeniz iklimi
24,1-28	Yarı Nemli
28,1-35	Nemli
35,1-55	Çok Nemli
>55	Aşırı Nemli

Çalışmada kullanılan diğer iklim sınıflandırması olan Emberger iklim sınıflandırması Fransız fitocoğrafyacı ve botanikçi Emberger (1933) tarafından oluşturulmuş olup ekofizyolojik temellidir. Emberger, daha ziyade Akdeniz iklimi ve bu bölgelerin iklimsel sorunları üzerinde yoğunlaşmıştır. Akdeniz iklimini fotoperiodizme, yaz yağışı miktarına, kurak mevsim süresine ve yağışlı mevsimde sağanak ve seyrek yağış olup olmadığına, yağış miktarlarında bulunan yıllık ve aylık değişkenlik niteliklerine göre tanımlamıştır (Akman, 1990).

Emberger Formülü (°C):

$$IE= ((100.P)/(M2-m2))$$

M: En sıcak ayın en yüksek sıcaklık ortalaması

m: En soğuk ayın en düşük sıcaklık ortalaması

P: Yıllık ortalama toplam yağış

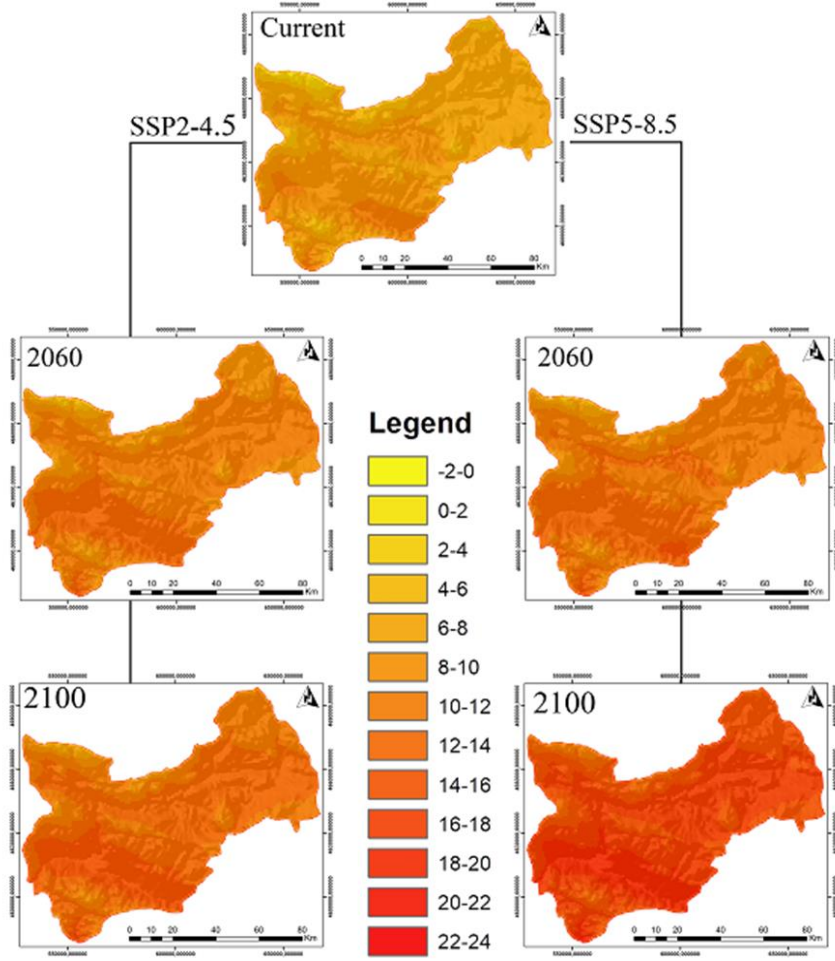
Tablo 2. İlgili iklim sınıf ve değerleri

Hesaplanan Değer	İklim Sınıfı
<30	Kurak
30-50	Yarı Kurak
50-90	Yarı Nemli
>90	Nemli

3. Bulgular

Çalışmaya konu senaryolara göre, Muş ilinin günümüz ile 2100 yılına kadar olan süreçte, 40'ar yıllık periyodlarda sıcaklık değişimi görsel olarak Şekil 1'de verilmiştir.

Şekil 1'de görüldüğü üzere Muş il genelinde ortalama sıcaklığın 2100 yılına kadar önemli derecede artacağı öngörülmektedir. Günümüzde ilin büyük bölümü 6-10 °C ortalama sıcaklığa sahipken ilin büyük bölümünün 2100 yılına kadar SSP2 4.5 senaryosuna göre 10-14 °C, SSP5 8.5 senaryosuna göre ise 14-18 °C ortalama sıcaklığa sahip olacağı görülmektedir. Muş ilinin günümüz ile 2100 yılına kadar olan süreçte, 40'ar yıllık periyodlarda sıcaklık değişimi alansal olarak Tablo 3'te verilmiştir.



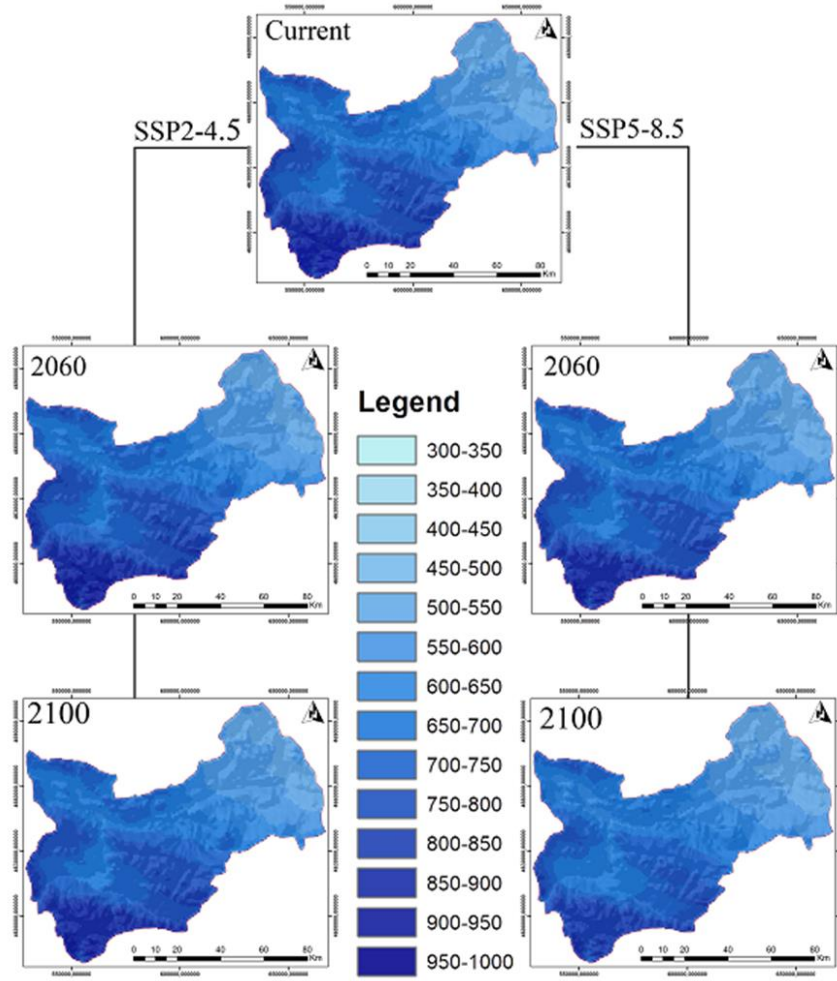
Şekil 1. Sıcaklık değişimi

Tablo 3. Muş'da sıcaklık değişimi

Sıcaklık aralığı	Günümüz	SSP2 4.5		SSP5 8.5	
		2060	2100	2060	2100
0-2	0,08				
2-4	1,51				
4-6	6,84	0,88		0,31	
6-8	52,46	2,62	1,06	1,75	
8-10	33,31	22,98	3,7	10,99	0,04
10-12	5,8	54,28	27,45	55,43	1,3
12-14		19,15	51,08	30,08	4,42
14-16		0,09	16,66	1,44	31,46
16-18			0,05		49,11
18-20					13,65
20-22					0,02

Tablo değerleri incelendiğinde günümüzde ilin yaklaşık %52,46'sı 6-8 °C, %33,31'i 8-10 °C ve %6,84'ü 4-6 °C aralığında ortalama sıcaklığa sahiptir. Dolayısıyla ilin yaklaşık 92,7'si 6-12 °C ortalama sıcaklığa sahiptir. SSP2 4.5 senaryosuna göre 2100 yılına kadar ilin yaklaşık %51,08'i 12-14 °C, %27,45'i 10-12 °C ve %16,66'sı 14-16 °C ortalama sıcaklığa sahip olacaktır. SSP585 senaryosuna göre ise 2100 yılına kadar ilin yaklaşık %49,11'i 16-18 °C, %31,46'sı 14-16 °C ve %13,65'i 18-20 °C ortalama sıcaklığa sahip olacaktır. Kısaca 2100 yılına kadar SSP2 4.5 senaryosuna göre ilin yaklaşık %95,19'u 10-16 °C ortalama sıcaklığa, SSP5 8.5 senaryosuna göre ise ilin yaklaşık %94,23'ü 14-20 °C ortalama sıcaklığa ulaşacaktır. Çalışmaya konu senaryolara göre Muş il genelinde

yağış değişimi Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Yağış değişimi

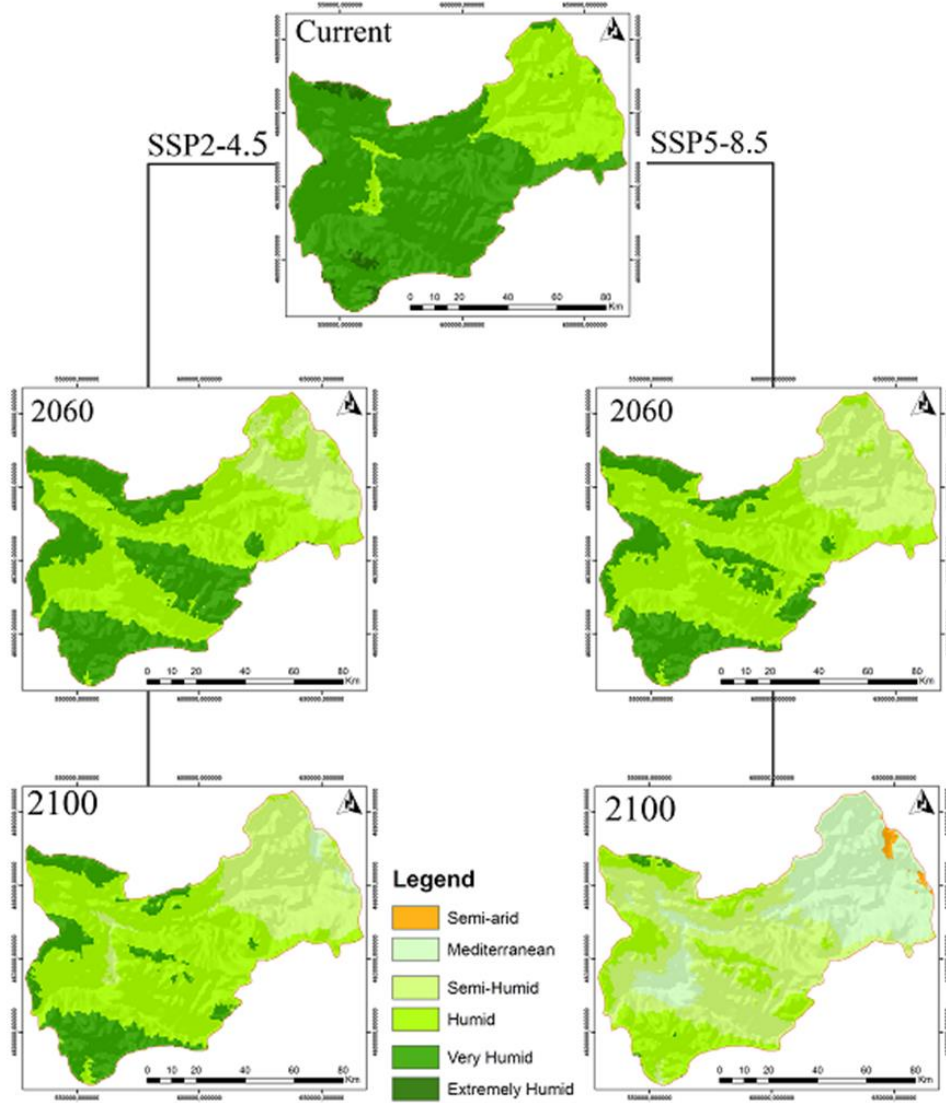
Muş il genelinde yağış değişim haritası incelendiğinde yağış miktarının önemli ölçüde azalacağı, özellikle ilin güney ve batı bölümünde günümüzde 700 mm'nin üzerinde yağış alan bölgelerin önemli ölçüde etkileneceği ve bu bölgede yağış miktarının büyük oranda düşeceği tahmin edilmektedir. Muş il genelinde 2100 yılına kadar olan süreçte, 40'ar yıllık periyotlarda yağış miktarının değişimi alansal olarak Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Muş'da yağış miktarının değişimi

Yağış aralığı	Günümüz	SSP2 4.5		SSP5 8.5	
		2060	2100	2060	2100
500-550	12,31	8,8	9,51	11,41	12,26
550-600	11,75	13,75	13,68	12,86	13,6
600-650	7,69	7,84	7,89	8,57	10,52
650-700	18,38	16,93	18,99	21,18	26,12
700-750	19,48	21,06	20,39	19,1	19,19
750-800	16,01	16,29	16,36	14,83	9,1
800-850	5,04	5,83	4,76	4,31	8,52
850-900	6,27	6,82	7,46	7,06	0,69
900-950	3,07	2,68	0,96	0,68	

Çalışmaya konu Muş il genelinde yağış durumunun değişimi incelendiğinde genel bir düşüş olduğu görülmektedir. Günümüzde il genelinde 650 mm'nin üzerinde yağış alan bölge il genelinin yaklaşık % 68,25'i iken bu oran 2100 yılında SSP2 4.5 senaryosuna göre %49,93'e, SSP5 8.5 senaryosuna göre ise %37,5'e düşmektedir. Benzer şekilde fazla yağış alan bölge miktarı azalmakta, günümüzde 900 mm'nin üzerinde yağış alan bölge il genelinin yaklaşık %3,07'si iken bu alanların 2100 yılında il genelinin SSP2 4.5 senaryosuna göre %0,96'sına düşeceği, SSP5 8.5 senaryosuna göre ise ortadan kalkacağı tahmin edilmektedir.

Çalışmaya konu senaryolara göre, Muş ilinin günümüz ile 2100 yılına kadar olan süreçte, 40'ar yıllık periyotlarda De Martonne iklim sınıflarına göre, iklim tiplerinin süreç içerisindeki değişimi Şekil 3'te verilmiştir.



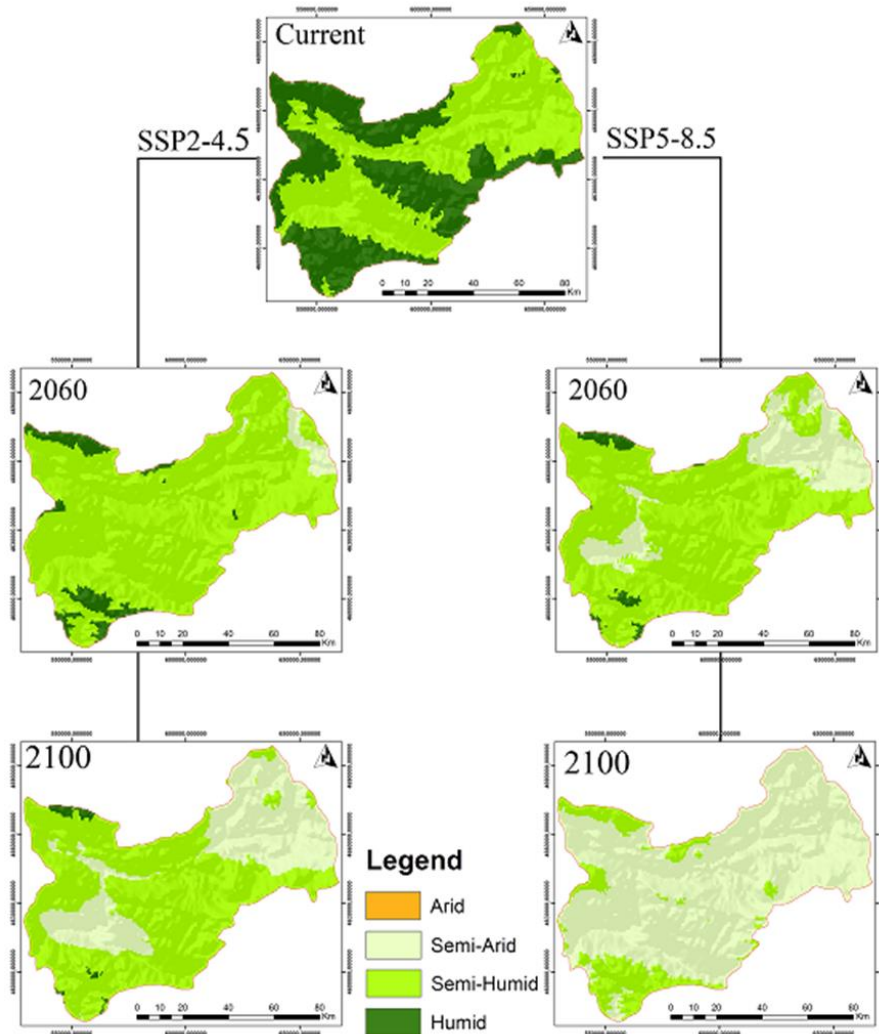
Şekil 3. De Martonne iklim sınıflandırmasına göre iklim sınıflarının değişimi

Muş'ta De Martonne iklim sınıflandırmasına göre iklim sınıflarının değişimi incelendiğinde sıcaklık artışı ve yağıştaki azalmanın etkisinin iklim sınıflarına yansıdığı ve büyük oranda kuraklaşma olduğu görülmektedir. Günümüzde ilin büyük bölümünde görülen nemli ve çok nemli iklim tipleri SSP 585 senaryosuna göre 2100 yılına kadar yerini büyük oranda akdeniz iklimi ve yarı nemli iklim tiplerine bırakacaktır. Bu değişimden en fazla etkilenecek kısımların ise ilin orta ve güney bölümü olacağı tahmin edilmektedir. De Martonne iklim sınıflandırmasına göre iklim sınıflarının alansal değişimi Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. De Martonne iklim sınıflandırmasına göre iklim sınıflarının alansal değişimi

İklim tipi	Günümüz	SSP2 4.5		SSP5 8.5	
		2060	2100	2060	2100
Yarı Kurak					0,84
Akdeniz iklimi			1,4	0,03	34,64
Yarı Nemli		13,21	26,42	22,64	40,60
Nemli	27,46	49,65	54,40	52,42	23,28
Çok Nemli	70,35	37,14	17,78	24,91	0,64
Aşırı Nemli	2,19				

De Martonne iklim sınıflandırmasına göre günümüzde Muş ilinin yaklaşık %70,35'inde çok nemli, %27,46'sında nemli, %2,19'unda ise aşırı nemli iklim tipi görülmektedir. Yapılan hesaplamalar 2100 yılında SSP2 4.5 senaryosuna göre ilin yaklaşık %54,40'ında nemli, %26,42'sinde ise günümüzde varolmayan yarı nemli iklim tipinin görüleceğini ortaya koymaktadır. SSP5 8.5 senaryosuna göre ise 2100 yılında ilin yaklaşık %40,60'ında yarı nemli, %34,64'ünde ise Akdeniz iklim tipi görülecektir. Emberger iklim sınıflarına göre, Muş'de iklimin süreç içerisindeki değişimi Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Emberger iklim sınıflandırmasına göre iklim sınıflarının değişimi

Günümüzde ilin tamamında görülen yarı nemli ve nemli iklim tiplerinin yerini hızla kurak iklim tiplerine bırakacağı tahmin edilmektedir. Günümüzde yok denecek seviyede olan yarı kurak alanların 2060 yılına kadar ortaya çıkacağı, SSP5 8.5 senaryosuna göre 2100 yılına kadar bu alanların ilin büyük bölümünü kaplayacağı öngörülmektedir. Emberger iklim sınıflandırmasına göre iklim sınıflarının alansal değişimi Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. Emberger iklim sınıflandırmasına göre iklim sınıflarının alansal değişim

İklim tipi	Günümüz	SSP2 4.5		SSP5 8.5	
		2060	2100	2060	2100
Yarı Kurak		3,03	33,43	20,68	85,92
Yarı Nemli	57,34	90,70	65,44	76,98	14,08
Nemli	42,66	6,27	1,13	2,34	

Emberger iklim sınıflandırmasına göre günümüzde Muş ilinin yaklaşık %57,34'ünde yarı nemli, %42,66'sında ise nemli iklim tipi hüküm sürmektedir. Tablo değerleri incelendiğinde il genelinde kuraklaşma sürecinin çok hızlı olacağı ve 2060 yılında SSP2 4.5 senaryosuna göre %90,70'inde yarı nemli iklim tipinin görüleceği, 2060 yılında SSP5 8.5 senaryosuna göre ilin %76,98'inde yarı nemli, %20,68'inde ise yarı kurak iklim tipinin hüküm süreceği öngörülmektedir. 2100 yılına gelindiğinde ise günümüzde varolmayan yarı kurak iklim tipinin hüküm sürdüğü alanların SSP2 4.5 senaryosuna göre ilin yaklaşık %33,43'ünde, SSP5 8.5 senaryosuna göre ise %85,92'sinde hakim olacağı tahmin edilmektedir.

4. Tartışma

Çalışma sonuçları küresel iklim değişikliğinin Muş'da iklim parametrelerini önemli ölçüde etkileyeceğini, bu etkilerin 2060 yılında net bir şekilde görüleceğini, 2100 yılında ise büyük çaplı değişiklikler olacağını ortaya koymaktadır. Bu değişimin önemli miktarda sıcaklık artışı, yağışlarda azalma ve bunlara bağlı olarak iklim tiplerinin kurak iklim tiplerine dönüşmesi şeklinde gerçekleşeceğini tahmin edilmektedir. Benzer değişimlerin dünya genelinde yaşanacağı yapılan çalışmalarla ortaya konulmuş olup, Türkiye'nin "risk altındaki ülkeler" arasında yer aldığı, 2100 yılına kadar ülke genelinde 6 °C'yi bulan sıcaklık artışları görülebileceği belirlenmiştir (Arıca vd., 2024). Küresel iklim değişikliğine bağlı olarak Muş ilinde iklim tiplerindeki değişimin, tarımsal faaliyetlerden bitki türlerinin yayılış alanlarına, ilin enerji ihtiyacından insanların konfor alanlarına kadar hemen her alanda farklı düzeyde etkileri olması beklenmektedir. Çünkü bilindiği üzere iklim, insanların fiziksel çevresini şekillendirdiği gibi, insanoğlunun yaşamı, her türlü sosyal ve ekonomik faaliyeti, bütün canlılar için habitatların oluşumu üzerinde etkilidir. İnsanların giyim tercihlerinden, her türlü ekonomik sürece, toplumların dil ve kültür gelişimine kadar pek çok alanda iklimin etkisi görülmektedir. Hatta iklimin, insanların psikolojik durumlarını da önemli ölçüde etkilediği belirtilmektedir (Koç, 2022a,b; Dogan vd., 2024). Çalışma sonuçları gelecek yıllarda Muş ili genelinde sıcaklık ortalamasında önemli miktarda artış olacağını, yağışın azalacağını ve bunlara bağlı olarak iklim tiplerinin hızla kurak iklim tiplerine doğru kayacağını göstermektedir. Bu süreçten neredeyse bütün canlılar ve ekosistemler önemli ölçüde etkilenecektir. Ancak en fazla etkilenecek canlı grubu etkin bir hareket kabiliyetine sahip olmayan bitkilerdir. Yani tarım, orman ve mera alanları süreçten büyük zarar görecektir. Bunun sonucunda ekonomisi büyük ölçüde tarım ve hayvancılığa dayalı Muş ilinin ekonomik olarak büyük zarar görmesi kaçınılmazdır. Sürecin etkilerini azaltmak için şimdiden gerekli tedbirler alınmalı, örneğin tarımsal alanda su ihtiyacı daha az olan genotiplerin kullanımı, suyun idareli kullanımını sağlayan damla sulama sistemleri gibi ileri sulama sistemlerinin tercih edilmesi, değişen iklim şartlarına göre ürün tercihi, her alanda sürdürülebilirlik prensibinin ön planda tutulması önerilmektedir. Su kullanımı konusunda planlamalar yapılmalı, halkın bilinçlendirilmesinin sağlanarak su israfının önlenmesi, evsel ve sanayi su kullanımının azaltılması, her alanda su tasarrufu sağlayan makinelerin tercih edilmesi, su hasatının yapılarak suların yağışlı mevsimlerde depolanması gibi uygulamalar yaygınlaştırılmalıdır.

5. Sonuç

İklimin dünya üzerindeki bütün canlıları etkileyen bir faktör olması, iklimsel değişimleri ayrıca önemli kılmaktadır. Yapılan çalışmalar iklim değişikliğinin en fazla göller, nehirler, yeraltı suları gibi tatlı sular üzerinde baskı oluşturacağını, suyun gelecek yıllarda en değerli kaynak olacağını ortaya koymaktadır. Zaten varolan kirlilik sorununun oluşturduğu baskı ile birleşen iklimsel stresler, su kaynaklarını ciddi biçimde tehdit edecektir (Sevik ve Topacoglu, 2015; Demir vd., 2021; Key vd., 2023). Bu durum dünyadaki canlı yaşamı açısından

büyük bir tehdittir çünkü bütün canlı yaşamı suya bağımlıdır ve canlıların bütün fenotipik karakterlerini genetik yapı ile birlikte çevresel faktörler şekillendirir (Kurz vd., 2023; Hrivnak vd., 2023). Çevresel faktörler içerisinde en önemlileri de şüphesiz, küresel iklim değişikliğinin en fazla etkileyeceği sıcaklık ve yağış faktörleridir (Koç, 2021a,b; Cantürk vd., 2024).

Şu aşamada, küresel iklim değişikliği ile yüzleşilmesi gerektiği belirtilmekte, sürecin yıkıcı etkilerinin azaltılabilmesi için de her alanda muhtemel değişimlerin belirlenerek tedbir alınması gerektiği vurgulanmaktadır (Varol vd., 2022; Işınkaralar vd., 2023; Ertürk vd., 2024a,b). Bu sebeple küresel iklim değişikliğinin etkileri ile iklimsel parametrelerdeki değişimlerin belirlenmesi konusunda çok sayıda çalışma yapılmış, ülkemizde yapılan çalışmalarda da bu durum ortaya konulmuştur. Örneğin Bolu'da Lang iklim sınıflandırmasına göre yapılan çalışmada günümüzde Bolu'nun sadece %0,71'inde kurak iklim hüküm sürerken 2070 yılında bu oran RCP 4.5 senaryosuna göre %18,17 ve RCP 8.5 senaryosuna göre ise %30,41 seviyesine çıkacağı belirtilmiştir (Koç, 2021a). Yine Emberger iklim sınıflandırmasına göre günümüzde Bursa ilinde kurak ve yarı kurak alanlar bulunmazken 2100 yılına gelindiğinde SSPs 585 senaryosuna göre ilin yaklaşık %5,8'inde kurak, %82,65'inde yarı kurak iklim tipinin hakim olacağı öngörülmektedir (Arıcak vd., 2024). Düzce'de yapılan bir çalışmada da De Martonne iklim sınıflandırmasına göre günümüzde il genelinin yaklaşık %47.22'sinde nemli, %52.78'inde aşırı nemli iklim tipi hüküm sürerken 2070 yılında RCP 4.5 senaryosuna göre ilin yaklaşık %19.94'ünde yarı nemli, %71.10'unda nemli iklim ve %8.96'sinde de çok nemli iklimin etkisinin görüleceği belirlenmiştir (Koç, 2021b). Yapılan diğer çok sayıda çalışmada da sıcaklık artışı, yağışlarda azalma ve iklim tiplerinde kurak iklim tiplerine doğru kaymalar olacağı vurgulanmıştır (Koç vd., 2022a; Cantürk vd., 2024).

İklim parametrelerinde yaşanacak değişimin bütün canlı yaşamını doğrudan veya dolaylı olarak etkileyeceği ancak en yıkıcı etkilerin bitkiler üzerinde olacağı belirtilmektedir. Çünkü diğer canlılar gibi bitkilerin de bütün fenotipik karakterleri genetik yapıları ile çevre şartlarının etkileşimi altında şekillenir ve en önemli çevresel faktörlerin başında da iklimatik faktörler yani iklim gelir (Erdem vd., 2024; Ozturk Pulatoglu vd., 2025). Dolayısıyla iklimde yaşanacak kalıcı değişikliklerin bitkiler üzerindeki etkisi daha da yıkıcı olması kaçınılmazdır. Özellikle uzun hayat devresine sahip olan ve etkin bir hareket kabiliyetine sahip olmayan yüksek yapılı ağaçlar, örneğin orman ağaçları, bu süreçten önemli ölçüde etkilenecek, birey, tür ve hatta populasyon kayıpları kaçınılmaz olacaktır (Çobanoğlu vd., 2023). Sürecin etkilerinin en fazla bitkiler üzerinde görüleceği düşünüldüğünde tarım, mera ve ormanlık alanların ileri derecede etkileneceği söylenebilir. Bu durumda Muş gibi ekonomisi tarım ve hayvancılığa dayalı illerin, bu süreçten ileri derecede muzdarip olması kaçınılmazdır.

6. Etik Standartlara Uygunluk

a) Yazarların katkıları

1. HK: Çalışmayı tasarladı ve verileri yorumladı.
2. ŞÇ: Laboratuvar çalışmasını gerçekleştirdi.
3. HK ve ŞÇ: Laboratuvar çalışmasını gerçekleştirdi ve makaleyi hazırladı.

b) Çıkar çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan ettiler.

c) Hayvanların refahına ilişkin beyan

Bu çalışma Deney Hayvanları Yerel Etik Kurul Çalışma protokolünü kapsamamaktadır.

d) İnsan hakları beyanı

Bu çalışma insan katılımcıları kapsamamaktadır.

e) Funding

This study was supported by

7. Kaynakça

- Akman, Y. (1990). İklim ve Biyoiklim. Palme Yayınları, Ankara, 186-193.
- Arıcak, B., Canturk, U., Koc, I., Erdem, R., Sevik, H. (2024). Shifts That May Appear in Climate Classifications in Bursa Due to Global Climate Change, *Forestist*. 74: 129-137. Doi:10.5152/ forestist.2024.23074
- Bayraktar, O. Y., Özel, H. B., Benli, A., Yilmazoglu, M. U., Türkel, İ., Dal, B. B., Şevik, H. & Kaplan, G. (2024). Sustainable foam concrete development: Enhancing durability and performance through pine cone powder and fly ash incorporation in alkali-activated geopolymers. *Construction and Building Materials*, 457, 139422.
- Cantürk, U., Koç, İ., Özel, H. B., & Şevik, H. (2024). Possible changes of *Pinus nigra* distribution regions in Türkiye with the impacts of global climate change. *BioResources*, 19(3), 6190- 6214.

DOI:10.15376/biores.19.3.6190-6214

- Cobanoğlu, H., Sevik, H., & Koç, İ. (2023). Do annual rings really reveal Cd, Ni, and Zn pollution in the air related to traffic density? An example of the cedar tree. *Water, Air, & Soil pollution*, 234(2), 65.
- Çobanoğlu, H., Canturk, U., Koç, İ., Kulaç, Ş., & Sevik, H. (2023). Climate change effect on potential distribution of anatolian chestnut (*Castanea sativa* Mill.) in the Upcoming Century in Türkiye. *Forestist*, 73(3), 247-256. DOI:10.5152/forestist.2023. 22065.
- Demir, T., Mutlu, E., & Gültepe, N. (2024). Bioaccumulation of heavy metals in Capoeta tinca fish and health risk assessment. *Revista Cientifica de la Facultade de Veterinaria*, 34(2).
- Demir, T., Mutlu, E., Aydın, S., & Gültepe, N. (2021). Physicochemical water quality of Karabel, Çaltı, and Tohma brooks and blood biochemical parameters of *Barbus plebejus* fish: assessment of heavy metal concentrations for potential health risks. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193, 1-15.
- Dogan, S., Kilicoglu, C., Akinci, H., Sevik, H., & Cetin, M. (2023). Determining the suitable settlement areas in Alanya with GIS-based site selection analyses. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(11), 29180-29189.
- Dogan, S., Kilicoglu, C., Akinci, H., Sevik, H., Cetin, M., & Kocan, N. (2024). Comprehensive risk assessment for identifying suitable residential zones in Manavgat, Mediterranean Region. *Evaluation and Program Planning*, 106, 102465.
- Emin, N., & Mutlu, E. (2024). Akgöl Gölet Havzasının (Sinop-Ayancık) Su Kalitesinin Yerinde Analizlerle Tespiti ve Ağır Metal Kirliliğinin Araştırılması. *Menba Kastamonu Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Dergisi*, 10(3), 243-252.
- Erdem, R., Koç, İ., Çobanoğlu, H., & Şevik, H. (2024). Variation of magnesium, one of the macronutrients, in some trees based on organs and species. *Forestist*, 74(1), 84-93.
- Ertürk, N., Arıca, B., Yiğit, N., & Sevik, H. (2024a). Potential changes in the suitable distribution areas of *fagus orientalis lipsky* in kastamonu due to global climate change. *Forestist*, 74: 159-165. doi:10.5152/forestist.2024.23024.
- Ertürk, N., Arıca, B., Sevik, H., & Yiğit, N. (2024b). Possible Change in Distribution Areas of *Abies* in Kastamonu due to Global Climate Change. *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty*, 24 (1), 81-91.
- Ghoma, W. E. O., Sevik, H., & Isinkaralar, K. (2023). Comparison of the rate of certain trace metals accumulation in indoor plants for smoking and non-smoking areas. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-9.
- Gur, E., Palta, Ş., Ozel, H. B., Varol, T., Sevik, H., Cetin, M., & Kocan, N. (2024). Assessment of Climate Change Impact on Highland Areas in Kastamonu, Turkey. *Anthropocene*, 46, 100432. DOI: 10.1016/j.ancene.2024.100432
- Gültekin, Y., Kılıç Bayraktar, M., Sevik, H., Cetin, M., Bayraktar, T. (2025) Optimal Vegetable Selection in Urban and Rural Areas Using Artificial Bee Colony Algorithm: Heavy Metal Assessment and Health Risk, *Journal of Food Composition and Analysis*, DOI: 10.1016/j.jfca.2024.107169.
- Hrivnák, M., Krajmerová, D., Paule, L., Zhelev, P., Sevik, H., Ivanković, M., Goginashvili, N., Paule, J., Gömöry, D. (2024). Are there hybrid zones in *Fagus sylvatica* L. sensu lato?. *Eur J Forest Res* 143, 451–464. <https://doi.org/10.1007/s10342-023-01634-0>
- Isinkaralar, O., Isinkaralar, K., & Sevik, H. (2025a). Health for the future: spatiotemporal CA-MC modeling and spatial pattern prediction via dendrochronological approach for nickel and lead deposition. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 1-13. DOI:10.1007/s11869-025-01702-x
- Isinkaralar, O., Isinkaralar, K., Sevik, H. & Kucuk, O. (2025b). Thermal comfort modeling, aspects of land use in urban planning and spatial exposition under future climate parameters. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* <https://doi.org/10.1007/s13762-025-06396-3>
- Isinkaralar, O., Isinkaralar, K., Sevik, H., & Küçük, Ö. (2024). Spatial modeling the climate change risk of river basins via climate classification: a scenario-based prediction approach for Türkiye. *Natural Hazards*, 120:511–528. <https://doi.org/10.1007/s11069-023-06220-6>
- Istanbulu, S. N., Sevik, H., Isinkaralar, K., & Isinkaralar, O. (2023). Spatial Distribution of Heavy Metal Contamination in Road Dust Samples from an Urban Environment in Samsun, Türkiye. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 110(4), 78.
- Işınkaralar, Ö., Işınkaralar, K., Şevik, H., & Küçük, Ö. (2023). Bio-climatic comfort and climate change nexus: A case study in Burdur basin. *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty*, 23(3), 241-249.
- İpek, G. G., Aras, S., Arslan, N. A. İ. M. E., & Mutlu, E. (2024). Evaluation of Freshwater Water Quality with Indexes and GIS-Based: A Case Study, Güren Stream (Küre Mountains National Park, Western Black Sea Basin, Turkey). *Water Resources*, 51(3), 332-343.
- Kalaycı Onac, A., Cetin, M., Sevik, H., Orman, P., Karci, A., Gonullu Sutcuoglu, G. (2021). Rethinking the campus transportation network in the scope of ecological design principles: case study of İzmir Katip Çelebi University Çiğli Campus *Environmental Science and Pollution Research* (2021).

<https://doi.org/10.1007/s11356-021-14299-2>

- Key, K., Kulaç, Ş., Koç, İ., & Sevik, H. (2023). Proof of concept to characterize historical heavy-metal concentrations in atmosphere in North Turkey: determining the variations of Ni, Co, and Mn concentrations in 180-year-old *Corylus colurna* L. (Turkish hazelnut) annual rings. *Acta Physiologiae Plantarum*, 45(10), 120.
- Koc, İ., Canturk, U., Cobanoglu, H., Kulac, S., Key, K., & Sevik, H. (2025). Assessment of 40-year Al Deposition in some Exotic Conifer Species in the Urban Air of Düzce, Türkiye. *Water Air Soil Pollut* 236, 76. <https://doi.org/10.1007/s11270-024-07723-z>
- Koç, İ. (2021a). The effect of global climate change on some climate parameters and climate types in Bolu. *Journal of Bartın Faculty of Forestry*, 23(2), 706-719.
- Koç, İ. (2021b). Changes that may occur in temperature, rain, and climate types due to global climate change: the example of Düzce. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 9(8), 1545-1554.
- Koç, İ. (2022a). Determining the near-future biocomfort zones in Samsun province by the global climate change scenarios. *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty*, 22(2), 181-192.
- Koç, İ. (2022b). Determining the biocomfort zones in near future under global climate change scenarios in Antalya. *Kastamonu University Journal of Engineering and Sciences*, 8(1), 6-17.
- Kurz, M., Koelz, A., Gorges, J., Carmona, B. P., Brang, P., Vitasse, Y., ... & Csillery, K. (2023). Tracing the origin of Oriental beech stands across Western Europe and reporting hybridization with European beech—Implications for assisted gene flow. *Forest Ecology and Management*, 531, 120801.
- Kuzmina, N., Menshchikov, S., Mohnachev, P., Zavyalov, K., Petrova, I., Ozel, H. B., Aricak, B., Onat, S. M., & Sevik, H. (2023). Change of aluminum concentrations in specific plants by species, organ, washing, and traffic density, *BioResources* 18(1), 792-803.
- Muş İl Milli Eğitim Müdürlüğü, 2025, <https://mus.meb.gov.tr/www/ekonomi/icerik/15>, erişim tarihi 11/02/2025
- Mutlu, E., & Aydın Uncumusaoglu, A. (2018). Analysis of spatial and temporal water pollution patterns in Terzi Pond (Kastamonu/Turkey) by using multivariate statistical methods. *Fresenius Environmental Bulletin*, 27(5), 2900-2912.
- Mutlu, E., & Aydın Uncumusaoglu, A. (2024). Research on Water Quality for Evaluation Using the Water Quality Index and Multivariate Statistical Approach of Evrenye Stream (Kastamonu, Türkiye). *Polish Journal of Environmental Studies*. DOI: 10.15244/pjoes/192355
- Ozturk Pulatoglu, A., Koç, İsmail, Özel, H. B., Şevik, H., and Yıldız, Y. (2025). "Using trees to monitor airborne Cr pollution: Effects of compass direction and woody species on Cr uptake during phytoremediation," *BioResources* 20(1), 121–139
- Özel, H. B., Şevik, H., Yıldız, Y., & Çobanoğlu, H. (2024). Effects of Silver Nanoparticles on Germination and Seedling Characteristics of Oriental Beech (*Fagus orientalis*) Seeds. *BioResources*, 19(2). 2135-2148.
- Sevik, H., & Topacoglu, O. (2015). Variation and inheritance pattern in cone and seed characteristics of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) for evaluation of genetic diversity. *Journal of Environmental Biology*, 36(5), 1125.
- Sevik, H., Ucun Ozel, H., Yildiz, Y., & Ozel, H. B. (2025). Effects of adding Fe 2 O 3 and Fe 3 O 4 nanoparticles to soil on germination and seedling characteristics of Oriental beech, *BioResources*, 20(1), 70-82.
- Sevik, H., Yahyaoglu, Z., & Turna, I. (2012). Determination of genetic variation between populations of *Abies nordmanniana* subsp. *bornmulleriana* Mattf according to some seed characteristics, genetic diversity in plants. Chapter, 12, 231-248.
- Şevik, H., Yildiz, Y., Ozel, H.B. (2024). Phytoremediation and Long-term Metal Uptake Monitoring of Silver, Selenium, Antimony, and Thallium by Black Pine (*Pinus nigra* Arnold)", *BioResources*, 19(3). 4824-4837.
- Şimşek, A., & Mutlu, E. (2023). Assessment of the water quality of Bartın Kışla (Kozcağız) Dam by using geographical information system (GIS) and water quality indices (WQI). *Environmental Science and Pollution Research*, 30(20), 58796-58812.
- Tandogan, M., Özel, H. B., Gözet, F. T., & Şevik, H. (2023). Determining the taxol contents of yew tree populations in western Black Sea and Marmara regions and analyzing some forest stand characteristics, *BioResources* 18(2), 3496-3508.
- Tokatli, C., Mutlu, E., Ustaoglu, F., Islam, A. R. T., & Muhammad, S. (2024). Spatiotemporal variations, health risk assessment, and sources of potentially toxic elements in potamic water of the Anday Stream Basin (Türkiye), Black Sea Region. *Environmental Monitoring and Assessment*, 196(5), 420.
- Uncumusaoglu, A. A., & Mutlu, E. (2021). Water quality assessment in Karaboğaz Stream Basin (Turkey) from a multi- statistical perspective. *Polish Journal of Environmental Studies*, 30(5), 4747-4759.
- Varol, T., Canturk, U., Cetin, M., Ozel, H. B., Sevik, H., & Zeren Cetin, I. (2022). Identifying the suitable habitats for Anatolian boxwood (*Buxus sempervirens* L.) for the future regarding the climate change. *Theoretical and Applied Climatology*, 150(1), 637-647.

- Yaşar İsmail, T. S., İsmail, M. D., Çobanoğlu, H., Koç, İ., & Sevik, H. (2025). Monitoring arsenic concentrations in airborne particulates of selected landscape plants and their potential for pollution mitigation. *Forestist*, 75: 1-6, DOI:10.5152/forestist.2024.24071
- Yigit, N., Mutevelli, Z., Sevik, H., Onat, S.M., Ozel, H.B., Cetin, M., Olgun, C. (2021). Identification of Some Fiber Characteristics in *Rosa* sp. and *Nerium oleander* L. Wood Grown under Different Ecological Conditions. *BioResources*, 16(3): 5862-5874. DOI:10.15376/biores.14.3.7015-7024.



Yapay Zeka Uygulamalarının Mavi Yüzgeçli Orkinos (*Thunnus Thynnus* (Linnaeus, 1758))'un Avcılığı ve Yetiştiriciliği'nin Rolü

Oğulcan Kemal Sagun¹ Hülya Eminçe Saygı^{2*}

Özet: Yapay Zekâ (YZ); öğrenme, problem çözme ve karar verme gibi tipik olarak insan zekası gerektiren görevleri yerine getirebilen bilgisayar sistemlerinin geliştirilmesi ve uygulanması anlamına gelmektedir ve son yıllarda birçok sektörde kullanımı yaygınlaşmıştır. Yapay zeka; balık yetiştiriciliğinde balık büyümesi ve sağlığının anlaşılmasını ve yönetimini önemli ölçüde artırabilecek gerçek zamanlı izleme, veri analitiği, tahmine dayalı modelleme ve karar destek sistemleri için fırsatlar sunmaktadır. Yapay zekanın son yıllarda orkinos avcılığı ve orkinos et kalitesinin belirlenmesinde de kullanılmaya başlandığı görülmektedir. Orkinos'un kalitesini değerlendiren bir YZ sistemi olan TUNA SCOPE, Cermaq ve Umitron Corporation gibi şirketlerin balık sağlığını ve refahını iyileştirmek için çeşitli girişimlerde bulundukları görülmektedir. YZ'nın su ürünleri yetiştiriciliğine entegrasyonunun, işgücü maliyetlerini ve çevresel etkileri azaltırken verimliliği ve balık refahını artıran veri odaklı kararlara olanak tanıyarak sürdürülebilir uygulamalarda devrim yaratması beklenmektedir. Çalışmamızın amacı; yapay zekanın balıkçılık ve su ürünleri yetiştiriciliğindeki kullanımı, orkinoslarda yapay zekanın kullanımının ne durumda olduğunu ortaya çıkartmaktır. Bu amaçla Su ürünlerinde Yapay Zekanın kullanımı ile ilgili yapılmış olan çalışmalar için Web of Science, Google Akademik ve Scopus'da "Artificial intelligence", "Artificial intelligence AND (fisheries OR aquaculture)", "Artificial intelligence AND Aquaculture" anahtar kelimeleri ile 2000-2024 yılları arasında yapılmış çalışmalar taranmış ve tarihsel geçmişini grafiklerle ortaya çıkartarak yorumlamaktadır. Bu çalışma sayesinde ileride yapılacak su ürünleri yetiştiriciliği çalışmalarında yapay zeka uygulamaları için bir alt yapı oluşturulmalıdır.

Anahtar Kelimeler: Yapay Zeka, Mavi Yüzgeçli Orkinos, Su Ürünleri Yetiştiriciliği, *Thunnus thynnus*

The Role of Artificial Intelligence in the Fishing and Aquaculture of Bluefin Tuna (*Thunnus Thynnus* (Linnaeus, 1758))

Abstract: Artificial Intelligence (AI) refers to the development and implementation of computer systems that can perform tasks that typically require human intelligence, such as learning, problem solving, and decision making, and its use has become widespread in many sectors in recent years. AI offers opportunities for real-time monitoring, data analytics, predictive modeling, and decision support systems that can significantly improve the understanding and management of fish growth and health in aquaculture. In recent years, AI has also been used in tuna fishing and determining tuna meat quality. Companies such as TUNA SCOPE, an AI system that evaluates the quality of tuna, Cermaq, and Umitron Corporation have been making various initiatives to improve fish health and welfare. The integration of AI into aquaculture is expected to revolutionize sustainable practices by enabling data-driven decisions that increase efficiency and fish welfare while reducing labor costs and environmental impacts. For this purpose, studies on the use of Artificial Intelligence in Aquaculture were scanned in Web of Science, Google Scholar and Scopus with the keywords "Artificial intelligence", "Artificial intelligence AND (fisheries OR aquaculture)", "Artificial intelligence AND Aquaculture" and studies conducted between 2000-2024 were interpreted by revealing their historical background with graphics. With this study, it is aimed to create an infrastructure for artificial intelligence applications in future aquaculture studies.

Keywords: Artificial Intelligence, Bluefin Tuna, Aquaculture, *Thunnus thynnus*

Makale Bilgisi (Derleme)

1Group Sagun, Sagun Plaza, Osmangazi, Sancaktepe, İstanbul / Türkiye
2 Ege Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Yetiştiricilik Bölümü, İzmir / Türkiye
*Sorumlu yazar: hulya.saygi@ege.edu.tr

Alıntı: Sagun, O. K., Eminçe Saygı, H. (2025), Yapay Zeka Uygulamalarının Mavi Yüzgeçli Orkinos (*Thunnus Thynnus* (Linnaeus, 1758))'un Avcılığı ve Yetiştiriciliğinin Rolü, Memba Su Bilimleri Dergisi, 11, (1) 96–115.
<https://doi.org/10.58626/memba.1647897>

Başvuru Tarihi: 28 Şubat 2025
Kabul Tarihi: 20 Mart 2025
Yayın Tarihi: 28 Mart 2025

1. Giriş

Yapay Zeka; öğrenme, problem çözme ve karar verme gibi tipik olarak insan zekası gerektiren görevleri yerine getirebilen bilgisayar sistemlerinin geliştirilmesi ve uygulanması anlamına gelmektedir (Dellermann ve ark. 2019). Yapay zeka uygulamaları dünyada farklı alanlarda kullanılmaktadır. Son yıllarda ise özellikle mavi büyüme stratejisinde bilim odaklı bilgisayar sistemleri ve yapay zeka ile desteklenen yaklaşımların kullanıldığı görülmektedir (Şekil 1).

Yapay zekanın birçok tanımı yapılmaktadır. Örnek verilecek olursa; yapay zeka "Görsel algı, konuşma, tanıma, karar verme ve diller arası çeviri gibi normalde insan zekası gerektiren görevleri yerine getirebilen bilgisayar sistemlerinin teorisi ve geliştirilmesi" tanımlamışlardır. (Coro, 2020) günümüzde su ürünleri yetiştiriciliğine de uygulanmaya başlanmıştır (Şekil 2).

FAO; 1960'lı yıllarda kişi başına balık tüketiminin 9 kg olduğu, günümüzde ise bu rakamın 20 kg'ın üzerine çıktığını ve su ürünleri yetiştiriciliğinin dünyanın artan nüfusunu beslemek için hayati önem taşıdığını belirtmiştir (FAO, 2024). Bu büyümeye paralel olarak bazı gereksinimler gündeme gelmiş ve yapay zeka uygulamaları sektörde başlatılmıştır. Günümüzde su ürünleri yetiştiriciliğine uygulanan yapay zeka tarihi, Fuzzy Mantık (Bulanık Mantık) adı verilen bir kavramla başlamıştır. 1965 yılında Zadeh (1965) "Bulanık Küme" başlıklı bir makale yayımlamıştır.

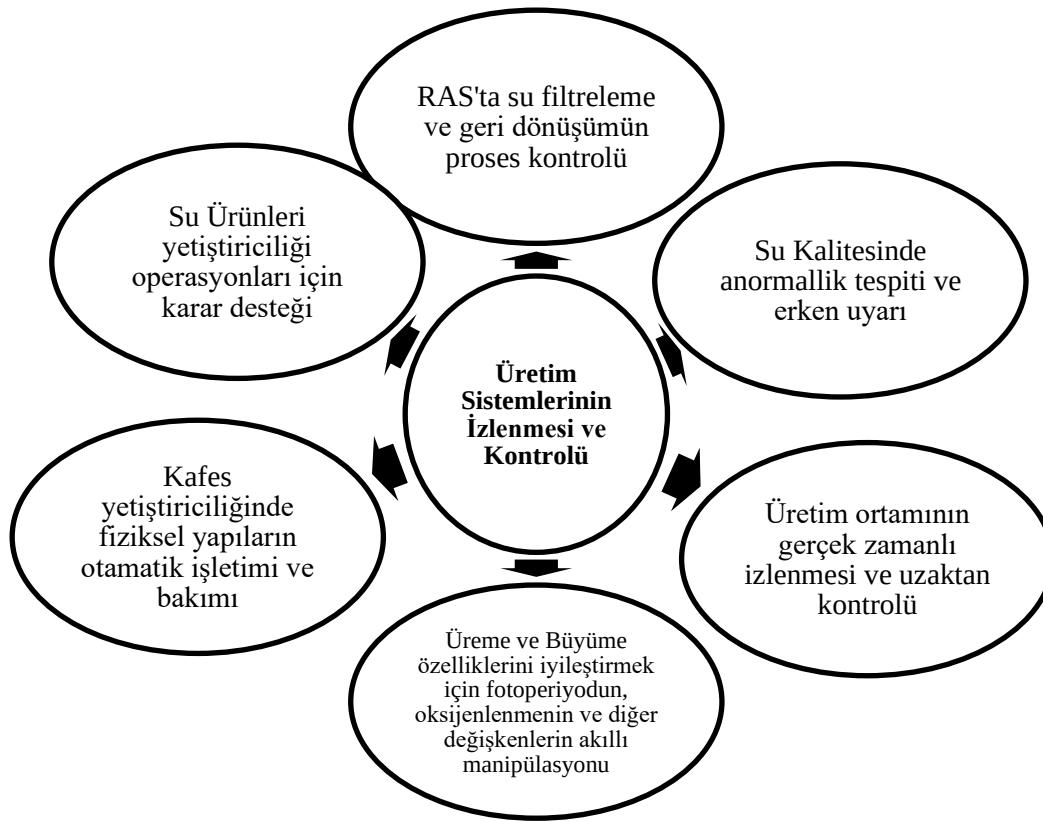


Şekil 1. Yapay zeka uygulamalarıyla Mavi Büyüme' ye verilen desteğin mantık şeması (Coro, 2020)

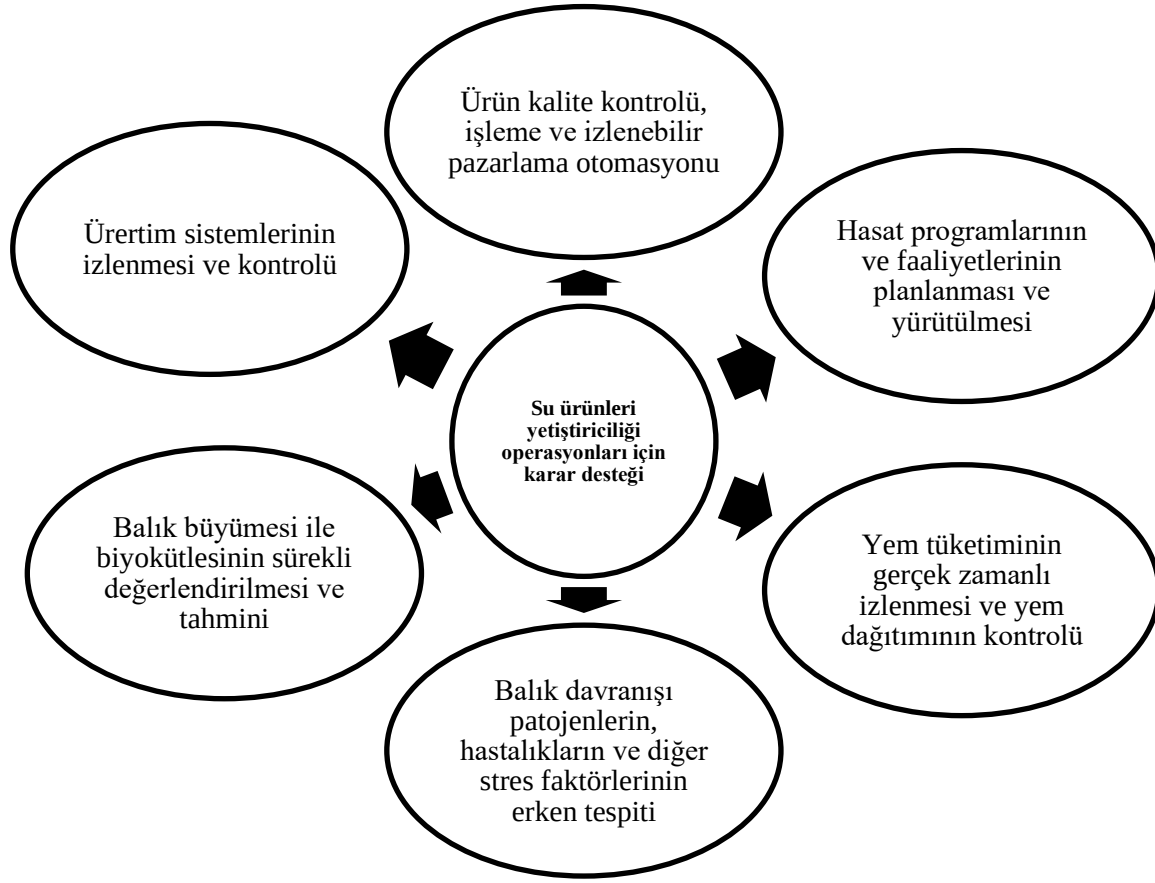
Zadeh makalesinde nesnelerin sınıflarının "üyelik derecelerinin bir süreklilik gösterdiği" yeni bir kavramı sunmuştur. Bu kavram, birçok şeyin net bir şekilde belirli bir kategoriye girmediğini vurgulayarak, bugün bulanık mantık olarak bilinen kavramın temellerini atmıştır.

Su ürünleri yetiştiriciliği ve su ürünleri avcılığından elde edilen üretimin 2018 yılında dünya ekonomisine 401 milyar dolar katkı sağladığı, su ürünlerinin insan gıdası olarak kullanılmasının yanı sıra dünyada 59,5 milyon insana geçim kaynağı oluşturduğu da bilinmektedir (Gladju ve ark., 2022). Bu sektörde yaşanan sürekli ve hızlı büyüme yenilikçiliğe dayalı akıllı teknolojilerin benimsenmesini zorunlu kılmakta olup balık yetiştiriciliği uygulamalarını optimize etmek ve sürdürülebilir su ürünleri yetiştiriciliğini sağlamak için bağlı yapay zeka (YZ) teknikleri ilerlemiştir (Austin ve diğ. 2022).

Su ürünleri yetiştiriciliği, balık, kabuklular ve yumuşakçalar gibi suda yaşayan organizmaların belirli bir ortamda yetiştirilmesi, üretilmesi ve toplanması işlemidir. Fiziksel, biyolojik ve ekonomik ortamlar ve süreçlere sahip son derece dinamik bir sistemdir. Bu nedenle tarım ve hayvancılık sektörlerinde olduğu gibi, balık yetiştiricileri ve işletmelerinde risklerin üstesinden gelmek ve gelişiminin sağlanması açısından her gün çeşitli kararlar alması gerekmektedir. Bu yüksek riskli ortamda YZ uygulamaları ile veri madenciliği ve makine öğrenimi araçlarının uygun kullanımı, su ürünleri yetiştiriciliği tesislerinin daha iyi yönetilmesi için, besleme, su kalitesinin izlenmesi ve kontrolü, balık biyokütlesi ve refahının izlenmesi, hastalık gibi tüm çiftçilik ve biyolojik süreçleri kapsayan akıllı çözümleri sağlayabilmektedir (Şekil 2, Şekil 3).



Şekil 2. Su ürünleri yetiştiriciliğinde Üretim Sistemlerinin İzlenmesi ve Kontrolü verilerinin makine teknikleri ile potansiyel uygulamalarının şematik gösterimi (Gladju ve diğ. 2022)



Şekil 3. Su ürünleri yetiştiriciliğinde operasyonları için karar desteği için gerekli verilerin makine teknikleri ile potansiyel uygulamalarının şematik gösterimi (Gladju ve diğ. 2022)

Yapay zekanın su ürünleri yetiştiriciliğine uygulanabilirliği fikrine dair yapılmış bazı çalışmalar bulunmaktadır. Lee ve diğ.(2000), bir kapalı devirli sistemde denitrifikasyon için bulanık mantık tabanlı bir kontrol sistemi kullanımı üzerine bir makale yayınlamışlardır. Çalışmaları, biyomedikal araştırmalar için mürekkep balığı barındıran bir sistem için bilgisayar kontrollü bir denitrifikasyon biyoreaktörü geliştirmeye odaklanmıştır. Bulanık mantık; çözünmüş oksijen, redoks potansiyeli ve pH ölçen sensörlerden gelen gerçek zamanlı verileri işlemek ve sırasıyla biyoreaktöre pompa hızlarını ve karbon besleme eklemelerini kontrol etmek için kullanılmıştır.

Su ürünleri yetiştiriciliği alanında ise YZ teknikleri; balık büyümesi ve sağlığının anlaşılmasını ve yönetimini önemli ölçüde artıracak gerçek zamanlı izleme, veri analitiği, tahmine dayalı modelleme ve karar destek sistemleri için fırsatlar sunmaktadır (Mustapha ve ark., 2021). Akuakültür uygulamaları, yem girdilerini, enerji tüketimini ve çevresel etkiyi en aza indirirken balık büyüme oranlarını en üst düzeye çıkarmayı amaçlamaktadır. Makine öğrenimi, genetik algoritmalar ve derin öğrenme gibi yapay zeka teknikleri, yemleme stratejilerini optimize etmek, optimum çevresel koşulları belirlemek ve büyüme yörüngelerini tahmin etmek için modeller geliştirmek için kullanılmıştır (Chen ve Gu 2020).

Orkinos avcılığı Akdeniz'de M.Ö 7. yy'da başlamış (Desse ve Desse-Berset 1994) olmakla birlikte 1980'lerde dünya çapında Japonların geleneksel yemeği "suşi" ve "saşimi" ye olan ilginin artması, orkinosları daha da ekonomik ve kıymetli hale getirmiştir (Fromentin ve Ravier 2005). Buna paralel olarak yoğun avcılık baskısı nedeniyle Atlantik Ton Balıklarının Korunması Uluslararası Komisyonu (ICCAT) kurulmuş olup komisyon; Atlantik ton balıkçılığında yıllık kotalar, küçük boy balıkların avlanmasında kısıtlamalar ve belirli balıkçılık faaliyetleri için zaman, alan yasakları konusundaki koruma tedbirlerinden ve yetiştiricilik faaliyetlerinin yönetiminden sorumludur. Türkiye 2003 yılında ICCAT'a resmen üye olarak uluslararası boyutta Atlantik ve Akdeniz'deki tüm ton ve ton benzeri türlerin stok yönetimi ile türe özgü bilimsel araştırmaları yürütmekle sorumludur.

Orkinos gırgır filusunun büyümesi ile gündeme birçok zorluk gelmiştir ki bu zorluklardan en önemlileri; yakıt tüketimini ve karbon ayak izini azaltma ihtiyacıdır. Optimum Orkinos avlama alanlarını tahmin etmek için tasarlanmış araçlar; yeni uygun balıkçılık alanlarının yerini belirleyerek arama süresini azaltmakta böylece iklim değişikliği nedeniyle balık dağılımındaki değişikliklere uyum sağlamaya katkıda bulunabilmektedir. Gıda ve

Tarım Örgütü (FAO) istatistikleri, deniz balığı avcılık miktarlarının son 20 yılda sabit kaldığını göstermektedir (FAO, 2023). Buna karşın yakıt tüketimi %20 artmış ve bunun sonucunda sera gazı emisyonları ortaya çıkmıştır (Bell ve diğ. 2017). Yakıt tüketimi gemi faaliyetinin toplam yıllık maliyetinin %60-70'ini oluşturmaktadır (Rojon ve Smith, 2014; Suuronen ve ark., 2012). Balıkçılık faaliyetleri arasında, yüksek oranda göç eden büyük pelajik türleri hedefleyen filolar en yüksek ve en değişken yakıt tüketimine sahip olanlardan biridir (Parker ve Tyedmers, 2015). Yakıt tüketiminin %90'ı Orkinos sürülerini arama ve balıkçılık alanlarına ulaşmaya ayrıldığından (Basurko ve ark., 2022), arama çabasını azaltmak bu filoların yakıt tasarrufu yapmasına katkıda bulunabilmektedir (Granado ve diğ. 2021). Bu bağlamda daha yüksek dijitalleşme, balıkçılık endüstrisinin yakıt tüketimini ve gırgır teknelerinin denizde geçirdiği süreyi azaltmayı hedeflemektedir (Erauskin-Extramiana vd., 2023). Sürdürülebilir balıkçılık için balıkçı filoları zamanla daha fazla teknolojiyi kullanmaya başlamışlardır ve bu yenilik "Akıllı Balıkçılık" olarak adlandırılmıştır (Honarmand Ebrahimi ve ark., 2021). Örneğin, balıkçılık endüstrisi, yüksek düzeydeki dijitalleşmeye dayanarak, deniz alanlarının çevresel koşullarını karakterize etmek ve balıkçılık alanlarını daha az çabayla coğrafi olarak belirlemek için dünya gözlem verilerinin kullanımını artırmaktadır (McCauley ve ark., 2016).

Bu makalenin amacı "Yapay zeka uygulamalarının mavi yüzgeçli orkinos (*Thunnus thynnus* (Linnaeus, 1758))'un avcılığında ve besiciliğindeki rolü"nü incelendiği ve günümüzde gelişen teknoloji ile birlikte ileri yıllarda daha da önem kazanacak olan yapay zekanın Group Sagun bünyesindeki orkinos besiciliğinde kullanımını sağlamaktır. Bu nedenle, öncelikle su ürünlerinde yapay zekanın kullanımı ile ilgili araştırmaları elde etmektir. Bu amaçla, çalışmada 3 farklı indekste (WoS, Google akademik ve Scopus)'ta su ürünlerinde yapay zekanın kullanımına göre yapılmış çalışmaların indekslerde 2020-2024 yılları arasında yapılmış çalışmalar ele alınarak genel bir değerlendirme yapılmıştır.

2. Materyal ve Metod

Bu çalışmada Su ürünlerinde Yapay Zekanın kullanımı ile ilgili yapılmış olan çalışmalar için Web of Science, Google Akademik ve Scopus'da "Artificial intelligence", "Artificial intelligence AND (fisheries OR aquaculture)", "Artificial intelligence AND Aquaculture)" anahtar kelimeleri ile 2000-2024 yılları arasında yapılmış çalışmalar taranmış ve özetlenmiştir. Bu makalenin bir başka amacı da orkinoslarda son yıllarda kullanılan yapay zeka yöntemlerinin belirlenmesine yöneliktir.

Scombridae familyasına ait olan *Thunnus thynnus* (Linnaeus, 1758) orkinos balığı; fusiform vücut yapısına sahip pelajik oceanodrom balıklar olup hızlı yüzücülerdir (Şekil 4). Vücut yapıları sudaki sürtünmeyi en aza indirgeyerek hızlı yüzmelerine yardımcı olmaktadır. Okyanus türleri olmakla birlikte mevsimsel olarak kıyıya yaklaşmakta ve sürü halinde yaşamaktadırlar (Froese and Pauly, 2024). Türde maksimum boy ve ağırlık sırasıyla; 458 cm ve 684 kg olarak bildirilmiştir (Claro, 1994). Orkinos için resmi olarak kaydedilmiş en büyük ağırlık ise 726 kg'dır (Mather vd. 1995). Türün sistematikteki yeri aşağıda verilmiştir.

Klasis: Osteichthyes
Ordo: Scombriformes
Familiya: Scombridae
Genus: *Thunnus*

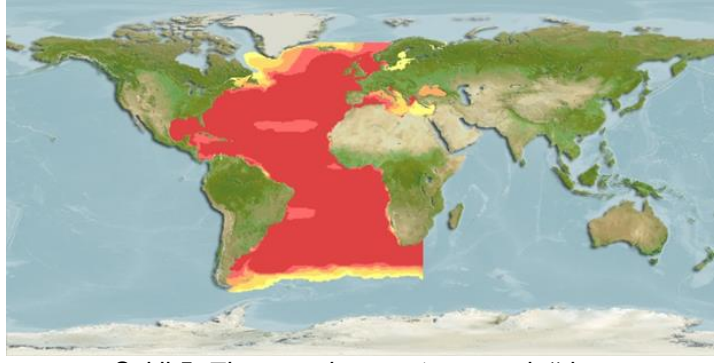
Thunnus thynnus (Linnaeus, 1758) Mavi Yüzgeçli Orkinos



Şekil 4. *Thunnus thynnus*

(<https://fishbase.mnhn.fr/summary/SpeciesSummary.php?ID=147&AT=Aleta+azul>)

Orkinoslar daha çok kuzey yarımküre sularında olmak üzere özellikle; Kuzey-Batı Pasifik Okyanusu, Kuzey-Doğu Atlantik Okyanusu ve Akdeniz'de dağılım göstermektedir (Mather vd. 1995) (Şekil 5).



Şekil 5. *Thunnus thynnus* türünün dağılımı

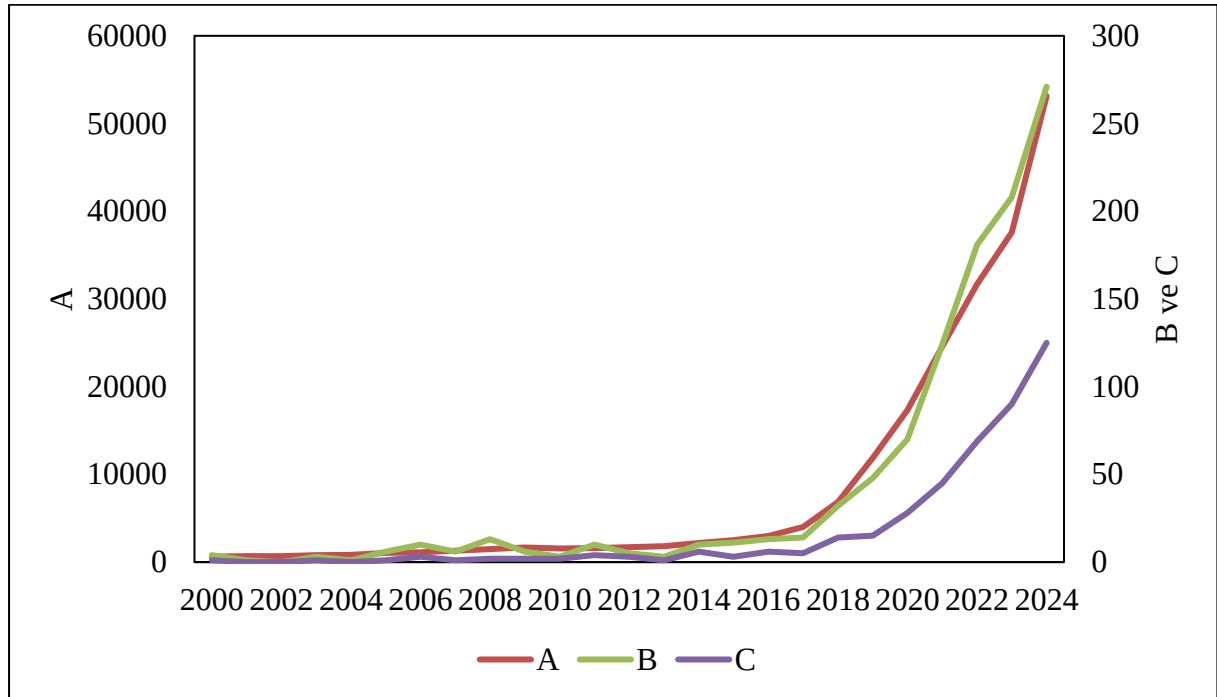
(<https://fishbase.mnhn.fr/summary/SpeciesSummary.php?ID=147&AT=Aleta+azul>)

3. Bulgular

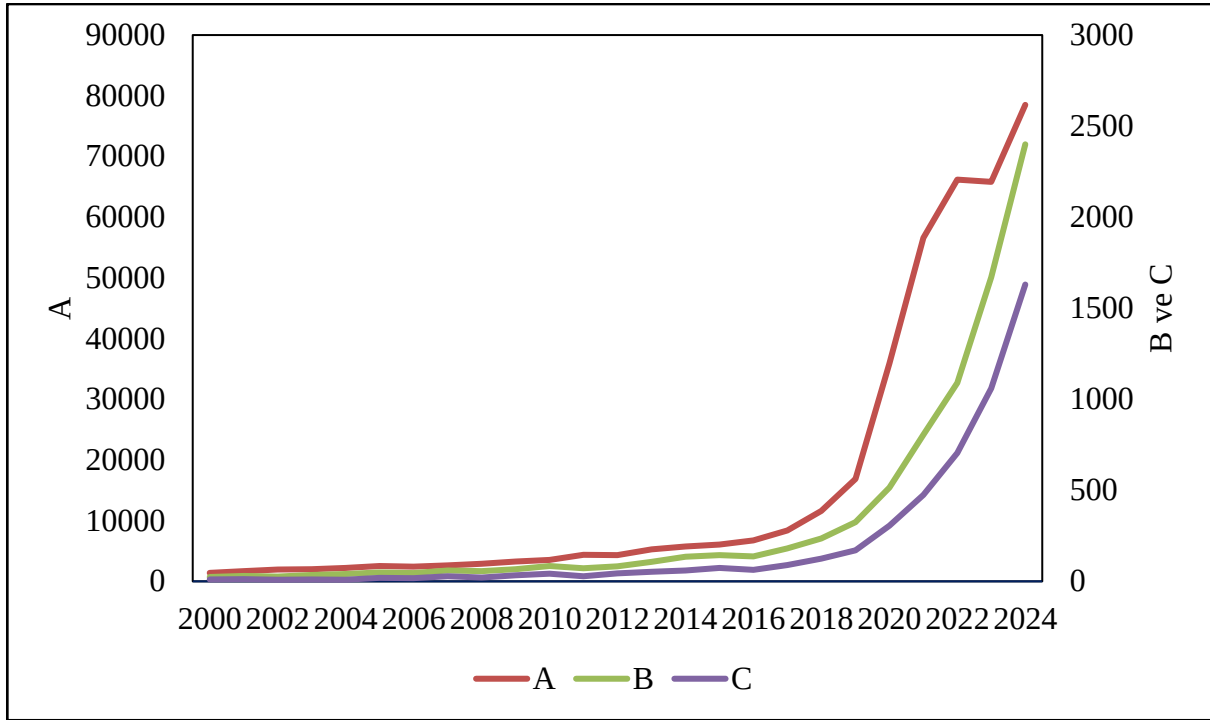
Bu çalışmada; yapay zekanın kullanımı ve gelişimi üzerine 2000-2024 arasında yapılmış çalışmalar Web of Science (WoS), Google akademik ve Scopus'da araştırılmıştır. Ayrıca daha sonra da yapay zekanın su ürünleri sektöründeki kullanımı ve su ürünleri yetiştiriciliğindeki gelişim durumu incelenmiş ve değerlendirilmiştir (Şekil 6, 7, 8).

Şekiller incelendiğinde WoS'da, Google Akademik'te ve Scopustaki sonuçlara göre yapay zeka ile ilgili çalışmaların 2019 yılından sonra hızlıca arttığı söylenebilir. Bunun yanında balıkçılık ve yetiştiricilik anahtar kelimelerinin her ikisi ile tarandığında 2021 yılında birden arttığı ve sadece Aquaculture çalışmaları incelendiğinde ise 2023 yılında bir artışa geçtiği söylenebilmektedir.

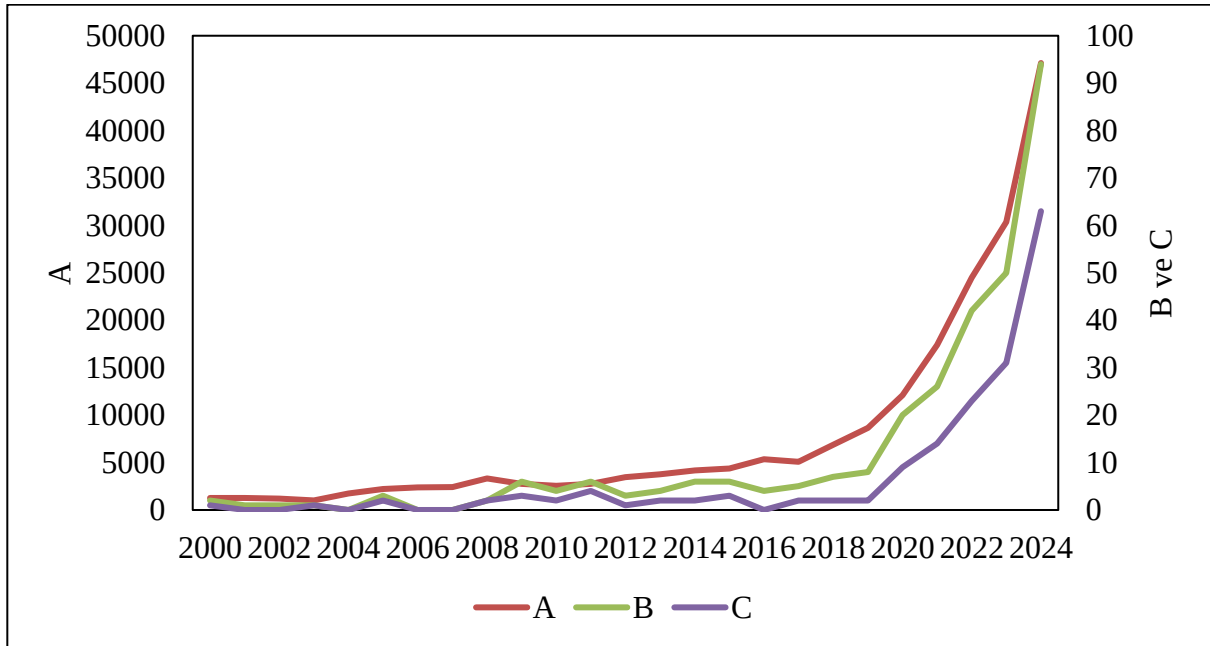
Balık yetiştiriciliği olarak da bilinen akuakültür, balıkların, kabukluların, yumuşakçaların ve diğer suda yaşayan organizmaların kontrollü ortamlarda yetiştirilmesini içermektedir (Chauhan ve Mishra 2022).



Şekil 6. WoS'da taranan yayınların sayısı (A: Artificial intelligence, B: Artificial intelligence AND (fisheries OR aquaculture), C: artificial intelligence AND aquaculture)



Şekil 7. Google Akademik'deki yayınların sayısı (A: Artificial intelligence, B: Artificial intelligence AND (fisheries OR aquaculture), C: artificial intelligence AND aquaculture)



Şekil 8. Scopus'da taranan yayınlanan sayıları (A: Artificial intelligence, B: Artificial intelligence AND (fisheries OR aquaculture), C: artificial intelligence AND aquaculture)

Su ürünlerinde kullanılan yapay zeka şekil 9'da gösterildiği gibi özetle şu şekildedir. Balık büyümesinin izlenmesinde, bilgisayarda görme ve makine öğrenimi, su kalitesi yönetiminde sensör veri analizi ve makine öğrenimi, yemleme optimizasyonunda takviye öğrenimi ve veri analizi, çevresel etki değerlendirmesi, veri madenciliği ve tahmine dayalı modelleme, erken ölüm tahmininde karar ağaçları ve veri analitiği, otomatik balık sayımında, bilgisayarlı görüntü ve görüntü işleme, hastalık salgını tahmininde, bayes ağları ve veri analitiği, büyüme tahmin modellerinde, sinir ağları ve regresyon analizi, davranış analizi ve değerlendirilmesi konusunda örüntü tanıma ve veri analitiği kullanılmaktadır.

Mavi yüzgeçli orkinosun varlığı ve yokluğunun tespiti, göç hareketleri, derinlik tercihleri ve biyolojisi

üzerine bazı yapay zeka uygulamaları (Uranga ve ark., 2017; Muñoz-Benavent ve ark., 2022; Block ve ark., 2001; Munoz-Benavent ve ark., 2018; Telesca, 2020; Xu ve ark., 2020; Goikoetxea ve ark., 2024) bulunmaktadır.

4. Tartışma ve Sonuç

Akıllı su ürünleri yetiştiriciliği sistemine göre; balık çiftlikleri öncelikle verileri blok zinciri ile nesnelerin internetine yapay zeka ve sensörler olarak yüklü olan verileri robotik, dronlar, 3D baskılar olarak sonuçları balık çiftlikleri hakkındaki verileri en iyi şekilde iletmektedir (Yue ve Shen, 2022).



Şekil 9. Balık büyümesi ve sağlığının izlenmesinde yapay zeka teknikleri (Huang and Khabusi, 2025)

Veri analizi ve tahmini açısından, YZ çevresel sensörler, su kalitesi monitörleri ve yemleme sistemleri gibi çeşitli kaynaklardan toplanan büyük hacimli verileri analiz edebilmektedir. Böylece akuakültürçülerin veri odaklı kararlar almasına olanak tanımaktadır (O' Doncha ve diğ.2021). Örneğin, YZ maksimum verimlilik için optimum besleme sürelerini, büyüme oranlarını, hastalık salgınlarını ve çevresel koşulları tahmin edebilmektedir.

Su kalitesi yönetimi açısından, optimum su kalitesinin korunması, suda yaşayan organizmaların sağlığı ve büyümesi için çok önemlidir. Yapay zeka sistemleri sıcaklık, pH, çözünmüş oksijen ve besin seviyeleri gibi parametreleri sürekli olarak izleyebilmektedir (Kaur ve diğ.2023). Su ürünleri yetiştiricileri, sensörlerden gelen verileri bütünleştirerek ve yapay zeka algoritmaları uygulayarak ideal koşullardan sapmaları tespit edebilir ve gerçek zamanlı olarak düzeltici önlemler alabilmektedir, böylece balık ölümü riskini azaltabilir ve genel üretkenliği artırabilmektedir (Gladjua ve diğ.2022).

Envanter yönetimi açısından, yapay zeka, su ürünleri yetiştiriciliği tesislerinde stok seviyelerinin ve envanterin yönetilmesine yardımcı olmaktadır. Yapay zeka algoritmaları, büyüme oranlarını, besleme düzenlerini ve pazar talebini analiz ederek optimum stoklama yoğunlukları, hasat zamanlamaları ve üretim planlamasına ilişkin bilgiler sağlayabilmektedir (Gladjua ve diğ.2022). Bu durum su ürünleri yetiştiricilerinin kaynak kullanımını optimize etmesine ve karlılığı en üst düzeye çıkarmasına yardımcı olmaktadır. Balık büyümesinin izlenmesinde Yapay zeka tabanlı görüntü analizi, balık uzunluğunu, ağırlığını ve biyokütlesini doğru bir şekilde ölçerek gerçek zamanlı büyüme izlemeyi ve optimize edilmiş besleme rejimlerini mümkün kılar. Yapay zeka modelleri geçmiş verilerden, çevresel verilerden yararlanarak büyüme oranını tahmin

edebilmektedir. Otomatik balık sayımında, Yapay zeka algoritmaları, su ürünleri tanklarında veya havuzlarda balık sayımını otomatikleştirerek doğru nüfus tahminleri sağlar ve verimli yönetimi kolaylaştırır. Büyüme tahmin modelleri çalışmalarında kullanılan Yapay zeka tabanlı büyüme modelleri, geçmiş verilere dayanarak balık büyüme yörüngelerini tahmin ederek üretim planlamasına yardımcı olur ve kaynak tahsisini optimize eder. Stok yönetimi, Yapay zeka tabanlı sistemlerde Stok yönetimi balık popülasyonlarını, büyüme oranlarını ve biyokütle dağılımını takip edip izleyerek verimli stok yönetimini ve karar almayı kolaylaştırır.

Yapay zeka uygulamaları balık büyümesi için kullanıldığı gibi balık hastalıklarının tespiti ve tanısında da kullanılmaktadır. YZ teknikleri, balıklarda hastalık tespiti ve teşhisi için etkili bir şekilde kullanılabilir; bu da su ürünleri yetiştiricileri ve araştırmacıların sağlık sorunlarını zamanında tespit edip ele almalarına yardımcı olur. Hastalık tespiti ve teşhisinde, Yapay zeka algoritmaları balık davranışı, görünümü ve yüzmesindeki ince değişiklikleri tespit eder, hastalıkların erken tanımlanmasına ve hızlı tedaviye olanak sağlayan modeller ortaya çıkartır.. Hastalık tedavisi, YZ sistemleri, semptom analizine, geçmiş verilere ve uzman bilgisine dayanarak balık hastalıkları için uygun tedavilerin belirlenmesine ve önerilmesine yardımcı olur. Erken ölüm tahmini, yapay zeka modelleri, balık ölümlerini tahmin etmek ve önlemek için su kalitesi, beslenme düzenleri ve çevre koşulları gibi çeşitli faktörleri entegre eder. Hastalık salgını tahmini, yapay zeka modelleri, hastalık salgınlarını tahmin etmek için geçmiş hastalık verilerini ve çevresel faktörleri kullanarak proaktif yönetim ve önleme sağlar. Davranış analizi ve refah değerlendirmesi, Yapay zeka sistemleri balık davranış kalıplarını izler, refah göstergelerini değerlendirir ve sağlık sorunlarına veya strese işaret edebilecek anormal davranışları belirler.

Görüntü tanıma ve bilgisayarlı görme açısından, Balık hastalıkları sıklıkla balığın vücudunda lezyonlar, renk değişikliği veya anormal davranışlar gibi görsel semptomlarla kendini gösterir. Evrimsel sinir ağları (CNN'ler) gibi derin öğrenme modellerini de içeren görüntü tanıma ve bilgisayarlı görme teknikleri, balıkların görüntülerini veya videolarını analiz etmek ve hastalık belirtilerini otomatik olarak tespit etmek için kullanılabilir (Zhang ve diğ.2020). Bu modeller, etiketlenmiş veri kümelerinden öğrenebilir ve balık görüntülerini sağlıklı veya hastalıklı kategorilere göre sınıflandırarak hastalıkların erken tespitine yardımcı olabilir.

Yapay zeka modelleri, balık ölümlerini tahmin etmek ve önlemek için su kalitesi, beslenme düzenleri ve çevre koşulları gibi çeşitli faktörleri entegre eder. Otomatik balık sayımı, Yapay zeka algoritmaları, su ürünleri tanklarında veya havuzlarda balık sayımını otomatikleştirerek doğru nüfus tahminleri sağlar ve verimli yönetimi kolaylaştırır.

Balıkların yem yönetimi ve optimizasyonunda yapay zekanın uygulanması, su ürünleri yetiştiriciliği operasyonlarında verimliliği önemli ölçüde artırabilir, maliyetleri azaltabilir ve balık büyümesini optimize edebilir. Balık yetiştiricileri, veri analizi, makine öğrenimi ve otomasyondan yararlanarak bilinçli kararlar alabilir, en iyi beslenmeyi sağlayabilir ve balık yetiştiriciliği uygulamalarının genel üretkenliğini ve sürdürülebilirliğini artırabilir.

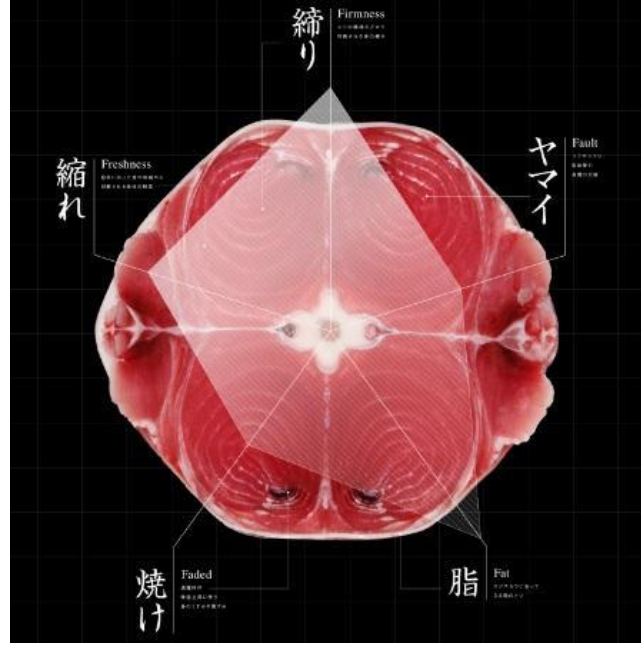
Yemleme optimizasyonu, Yapay zeka sistemleri, çevresel faktörlere, balık davranışlarına ve büyüme modellerine dayalı olarak yemleme stratejilerini öğrenip uyarlayarak yem israfını azaltır ve verimliliği artırır. Yapay zeka algoritmaları, maksimum büyüme ve verimlilik için yemin zamanlamasını, miktarını ve bileşimini optimize etmek üzere balık davranışını ve beslenme modellerini analiz eder. Yem dönüşüm oranı, YZ algoritmaları, yem dönüşüm oranını hesaplamak ve optimize etmek, israfı azaltmak ve verimliliği artırmak için besleme verilerini ve balık büyüme oranlarını analiz eder.

Çevresel etki değerlendirmesi, Yapay zeka araçları, su ürünleri yetiştiriciliği operasyonlarının çevredeki ekosistemler üzerindeki etkisini değerlendirmek için büyük veri kümelerini analiz ederek sürdürülebilir uygulamalara ve azaltma stratejilerine yardımcı olur. Su kalitesi yönetiminde, Yapay zeka modelleri, su parametrelerini izleyen sensörlerden gelen verileri tahmin etmek için işler ve balık büyümesi için en uygun koşullar, stres ve hastalık risklerinin en aza indirilmesi. YZ tabanlı sistemler, balıkların büyümesi için en uygun koşulları korumak amacıyla sıcaklık, pH, oksijen seviyeleri ve bulanıklık gibi çeşitli su parametrelerini izler. Çevresel modelleme, Yapay Zeka modelleri, sıcaklık, tuzluluk ve su akışı gibi çevresel faktörlerin balık büyümesi üzerindeki etkisini simüle edip tahmin ederek optimum çiftlik tasarımı ve yönetimine olanak tanır.

Genetik optimizasyon, Yapay Zeka algoritmaları, daha iyi büyüme oranlarına ve hastalık direncine katkıda bulunan özellikleri belirlemek için genetik verileri analiz ederek genetik seçim ve yetiştirme programlarına yardımcı olur. Hasat planlama, Yapay Zeka modelleri, büyüme oranlarına, pazar talebine ve ekonomik faktörlere dayalı olarak balık hasadı için en uygun zamanı tahmin ederek verimi ve kârlılığı optimize eder.

Orkinoslarda Yapay Zekanın Kullanımı ile ilgili çalışmalar incelendiğinde; görüntü tanıma yöntemi orkinoslarda son yıllarda kullanılan bir yöntemdir. Japonya'da bir orkinos balığının lezzeti, tazeliği ve dokusu gibi özelliklerini yalnızca gözle yılların deneyimi ve bireysel sezgiyle belirleyebilen usta zanaatkarlar bulunmaktadır. Ancak bir uzmanın yetişmesi uzun yıllar gerektirdiği ve maliyetli olduğu için orkinosun et kalitesi ve tazeliğinin belirlenmesinde yapay zeka uygulaması gündeme gelmiştir ve kullanılmaya başlanmıştır.

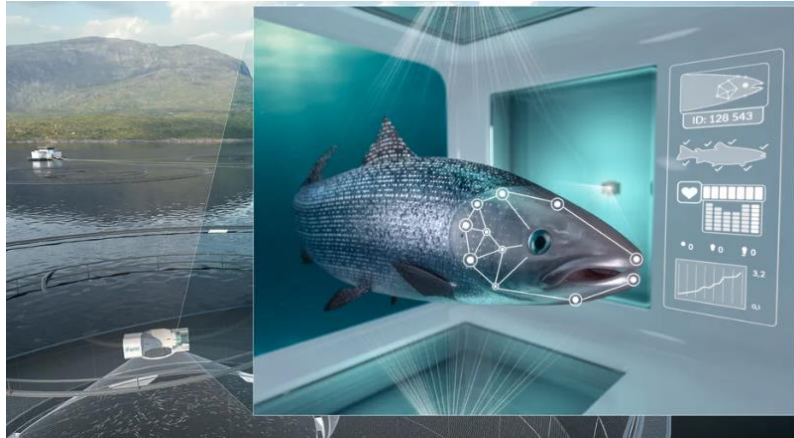
Bir orkinos balığının kuyruğunun kesiti, onun genel kalitesine ilişkin detaylı bir bilgi vermektedir (Şekil 10). Usta balık tüccarları, balığın rengi, parlaklığı, sertliği ve yağın katmanlanması gibi özelliklerini inceleyerek deneyim ve sezgileriyle birlikte balığın kalitesini anında belirleyebilmektedir. Bu uzun yıllardır Japon balık pazarlarında orkinos pazarı fiyatlarının temel belirleyicisi olmuştur.



Şekil 10. Orkinos balığının kuyruk kesiti (<https://www.brandinginasia.com/dentsus-tuna-scope-ai-program-judges-tuna-quality/how-to-judge-tuna-with-ai-tunascope-dentsu-japan-branding-in-asia/>)

Son yıllarda bir orkinosun kalitesini kuyruğunun kesitine göre anında belirleyen yapay zeka tabanlı bir sistem olan TUNA SCOPE oluşturulmuştur. Bu yapay zekanın gelişimi şu şekilde açıklanabilir. Yaizu; orkinos ve açık deniz balıkçılığı için Japonya'nın başlıca limanlarından biridir. Burada, orkinosların kuyruklarının kesit fotoğrafları çekilerek 35 yıllık deneyime sahip usta denetçiler tarafından verilen beş seviyeli ölçekte kalite derecelendirmeleriyle birlikte bir veri tabanına kaydedilmiştir. Derin öğrenme kullanılarak yapay zekaya orkinos inceleme sanatının nüansları öğretilmiştir. Böylece günün her saatinde kullanılabilecek orkinos muayenesi ile ilgili yeni bir yaklaşım doğmuştur.

Yapay zeka sistemi bir akıllı telefon uygulamasına monte edilmiştir. Japonya'nın Yaizu ve Misaki'nin yanı sıra Dalian ile Çin'deki balık işleme tesislerinde dondurulmuş Orkinos inceleme sürecine tanıtılmıştır. Uygulamanın doğruluğu Dalian'da gerçek usta denetçilerin sonuçlarıyla karşılaştırılarak test edilmiş ve uygulamanın sonuçlarının yaklaşık %90'ının insan emsalleriyle tutarlı olduğu kanıtlanmıştır.



Şekil 11. Somon balığının yapay zeka tarafından görselleştirilmesi (<https://www.salmonbusiness.com/cermaq-launches-new-ifarm-identifies-each-individual-fish-using-artificial-intelligence-and-machine-learning/>)

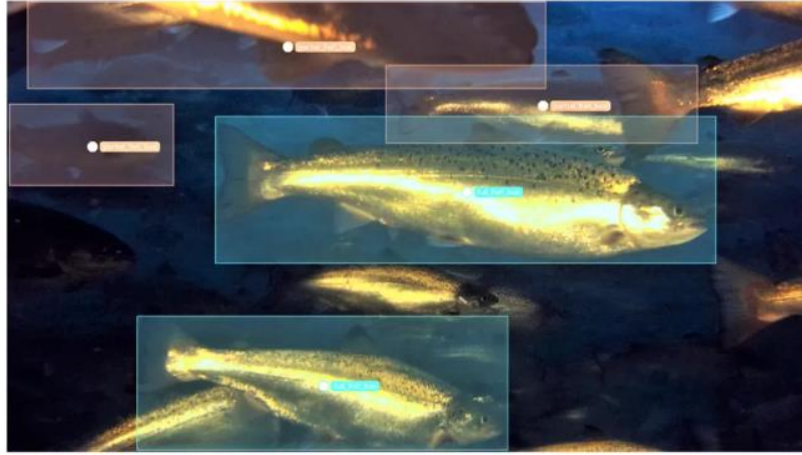
Yapay zeka teknolojisinde özellikle etkili olan iki ilerleme; derin öğrenme ve evrimsel sinir ağlarıdır. Geleneksel makine öğrenimi, sağlanan verilerle işlevleri gerçekleştirmek için algoritmalar kullanmakta olup bu geri bildirim ve ayarlamalar (kısmen insan girdisinden) yoluyla zamanla daha verimli hale gelmektedir. Derin öğrenme, algoritmaları katmanlandırarak, öz değerlendirme ve ayarlama yaparak bir adım daha ileri gitmektedir. Evrimsel sinir ağları, özellikle görüntü tanıma ve yorumlama için yararlı olan derin öğrenme

algoritmalarıdır (Şekil 11).

Yapay zeka şu anda su ürünleri yetiştiriciliğinde; besleme verimliliğini artırmak, biyokütle tahmini yapmak, büyüme takibi yapmak, hastalıkların erken teşhisini sağlamak, çevresel izleme ve kontrolü (özellikle RAS sistemlerinde) geliştirmek ve iş gücü maliyetlerini azaltmak için kullanılmaktadır. Yapay zeka modern sensör ve işleme teknolojileri ile su ürünleri yetiştiriciliğinin birçok rutin görevi daha az iş gücü ile ve hayvan refahı koşullarını iyileştirerek gerçekleştirilebilmektedir.

Yapay zekanın su ürünleri yetiştiriciliğinde kullanım alanlarına ilişkin yapılan çalışmalar bulunmaktadır. Balık davranışları ve dış görünüşüne dayalı ileri düzey hastalık tespitinde YZ uygulamalarının faydaları incelenmiştir. Chen ve diğ.(2022), derin öğrenme ve konvolüsyonel sinir ağı kullanarak kafeslerde yetiştirilen orfoz, lahoz gibi balıklarda üç tür anormal görünümü sınıflandıran iki aşamalı bir görüntü analiz sistemi bildirmişlerdir. Çalışmada geliştirilen dört sınıflandırma modelinden en iyisi ortalama %98,94 gibi oldukça yüksek bir doğruluk oranına ulaşmıştır.

Balık yetiştiriciliğinde YZ sistemlerinin geliştirilmesi için gerekli bileşenlerin maliyetleri hala nispeten yüksektir. Ancak maliyet eğilimleri ve yeni yaklaşımlar; en az kaynaklara sahip üreticilerin bile erişimini zamanla genişletebilecektir. Son zamanlarda, Darapaneni ve diğ.(2022), yetiştiricilerin hastalık salgınlarını erken tespit etmek amacıyla özel bir sistem önermişlerdir. Sistem; görüntüleri almak için su altı kameraları veya benzer sensörlere dayanmakta olup bu görüntüler bulut üzerinden işleme ve puanlama için aktarılmaktadır. Sonrasında, veriler bir YZ modeli aracılığıyla sınıflandırılarak analiz edilmektedir (Şekil 12). Modern bağlantı seçenekleri ile geri dönüş dakikalar içinde olabilmekte ve bu şekilde günde birkaç veya daha fazla çiftlik değerlendirilebilmektedir.



Şekil 12. Somon balığının sağlık izlemesinin yapay zekası tarafından değerlendirilmesi
(<https://thefishsite.com/articles/the-benefits-of-using-ai-in-land-based-aquaculture>)

Daha verimli besleme uygulamaları da son zamanlarda akuakültürde YZ araştırmalarının odak noktası olmuştur. Chen ve diğ.(2022), gerçek zamanlı su kalitesi verilerini kullanarak destek vektör makinesi modeli ve yapay sinir ağları ile bir biyokütle tahmin formülü kullanarak, RAS tesisinde yetiştirilen karidesler için yem gereksinimlerini ve optimum besleme miktarlarını tahmin etmişlerdir. Sonuçlar, manuel beslemenin muhtemelen ulaşabileceğinden çok daha iyi olan ortalama yüzde %3,7 hata oranının olduğunu göstermiştir.

Biyokütle izleme ve envanter kontrolü, akuakültürde YZ uygulamaları için verimli alanlardır. Gonçalves ve diğ.(2022), yavru balıkları saymak için konvolüsyonel sinir ağı kullanımı hakkında bir çalışma yapmışlardır. YZ yaklaşımı, iki veya daha fazla balık temas halinde veya üst üste geldiğinde bile balıkların sayılmasına olanak tanıyan ardışık görüntüler içermektedir ve model, yavru balık hareketlerini tahmin edebilecek şekilde uyarlanmıştır.

Bazı sektör gözlemcileri ve paydaşları, yetiştiricilikte YZ'nin geleceğinden emin olamayıp onu tamamen benimsemekte tereddüt etseler bile diğerleri büyük adımlar atmaktadır. Kanadalı firma ReelData YZ'nin karasal akuakültür operasyonları için iki önemli ürün geliştirmiştir. Bunlardan ReelAppetite, yem tüketimini ve tedarikini izler ve ayarlar, ReelBiomass ise üretim tesislerindeki boyut ve ağırlık dağılımlarının tahminlerini sağlar. Şirket, kısa süre önce A serisi finansman turunda 8 milyon USD'den fazla para toplamasıyla gündeme gelmiştir.

Küresel somon üreticisi Cermaq, birkaç yıldır bir YZ sistemi üzerinde çalışmaktadır. iFarm olarak adlandırılan bu konsept, teknoloji ortağı BioSort tarafından geliştirilmiş olup, ağ kafeslerinde balık sağlığını ve refahını iyileştirmeyi amaçlamaktadır (Şekil 13, 14). Araştırma, kademeli hedefler içermektedir. Başlangıçta, şirket balıkların sistemle nasıl etkileşime girdiğine odaklanmış ve sonraki denemeler sistem bileşenlerini ve operasyonlarını uyarlamayı ve kolaylaştırmayı amaçlamıştır. Mevcut denemeler, sensör teknolojilerini, veri toplama ve işleme süreçlerini ve makine öğrenme algoritmalarını değerlendirmektedir. Ağ kafeslerinde balıkları

ayırma yöntemleri geliştirmek de bir öncelik haline gelmiştir. Amaç; benzersiz nokta desenleri ve deniz biti varlığına dayalı olarak bireysel balıkları izlemek ve tedavi etmektir.



Şekil 13. Cermaq'ın yapay zeka destekli iFarm'ı (<https://thefishsite.com/articles/cermaq-stocks-third-fish-cohort-in-ifarm>)

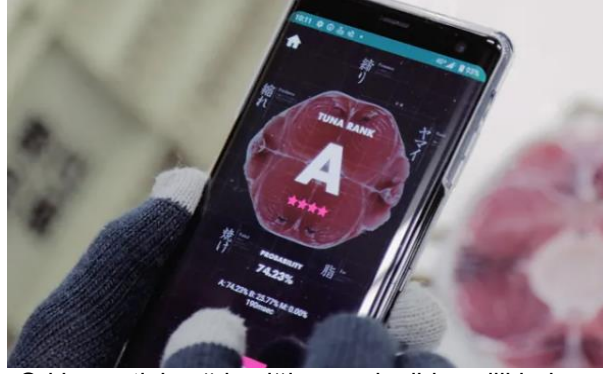


Şekil 14. Cermaq'ın iFarm'ı şu anda üçüncü balık grubunu yetiştirmesi (<https://thefishsite.com/articles/cermaq-stocks-third-fish-cohort-in-ifarm>)

Tokyo merkezli Umitron Corporation, akuakültür uygulamaları için YZ teknolojisini uyarlamaya odaklanmıştır. Kura Sushi restoran zinciri, Umitron tarafından geliştirilen YZ sistemlerini kullanarak Kura Osakana üretim sahasında Orkinos yetiştirmektedir. Umitron'un sistemi, her bir balık kafesine ne zaman ve ne kadar yem verileceğine dair kararlar almak için yüzme davranışlarının gerçek zamanlı izlenmesini kullanmaktadır. Bu yaklaşım, yem dönüşüm verimliliğini önemli ölçüde artırırken atıkları azaltır ve geleneksel günlük beslemeyle ilişkili nakliye/lojistik gereksinimlerini büyük ölçüde azaltmaktadır.

The Verge firması 8 yıldır balıkların kalitesini (yağ içeriği ve renk gibi) değerlendirmek için yapay zekayı kullanmaktadır (Şekil 15).

Orkinos'un et kalitesini değerlendirmek; sushi hazırlığının en önemli adımı olmakla birlikte bu et kalitesini değerlendirebilecek deneyimli zanaatkarların yetişmesi uzun yıllar gerektiren bir eğitim sürecini içermektedir. Bir Japon sushi restoran zinciri, Orkinos'un kalitesini değerlendirmek için yapay zeka destekli bir uygulama kullanmaktadır. Ancak yapay zekanın gerçekten bir insanın balık duyusunun yerini alabilir mi? sorusu hala tartışma konusudur.



Şekil 15. Uygulamanın Orkinos etini yağ içeriği ve renk gibi özellikleri açısından değerlendirmesi
(<https://www.nippon.com/en/japan-topics/q00984/>)

Tuna Scope adlı uygulama, Japon reklam firması "Dentsu" tarafından geliştirilmiştir. Uygulama; bir balığın yapısı hakkında çok şey ortaya koyabilen Orkinos kuyruklarının enine kesitlerinin binlerce görüntüsü üzerinde eğitilmiş makine öğrenimi algoritmalarını kullanmaktadır (Şekil 8). Uygulama tek bir fotoğraftan, Orkinos etini parlaklığı ve yağ tabakası gibi görsel özelliklere dayanarak beş puanlık bir ölçekle değerlendirmektedir. Deneyimli bir balık değerlendirmesi için bu özellikler, balığın nasıl bir yaşam sürdüğünü ne yediğini ve ne kadar aktif olduğunu göstermektedir, dolayısıyla ortaya çıkan lezzeti belirlemektedir. Dentsu, yapay zekasının "Orkinos inceleme sanatının açıklanamaz nüanslarını" yakaladığını iddia etmektedir. Uygulama ile zanaatkarlar arasında gerçekleştirilen karşılaştırmalı testlerde, uygulama ile kişilerin aynı notu verdiği gözlenmiştir. Ancak yine de sushi uzmanları ve balıkçıların özellikle yüksek kaliteli sushi ve sashimi için et satın alanların, Tuna Scope'un balık değerlendiricilerin yerini alabilme yeteneği konusunda biraz daha temkinli olduğu görünmektedir.

Londra'da yaşayan şef ve sushi eğitmeni Keiko Yamamoto; yalnızca görsellere dayanarak ton balığını değerlendirebilmenin kesinlikle mümkün olduğunu ifade etmiştir (<https://tuna-scope.com/en/>). Ürün kalitesi genellikle dokunarak değerlendirilmesine rağmen, Yamamoto'ya göre ton balığında görünüm her şeydir. Yüksek kaliteli ton balığını tanımlamak zordur, ancak şeflerin gördüklerinde bunu bilebilecekleri, alıcıların aradığı nitelikleri kelimelerle ifade etmenin zor olabileceğini, ancak eğitilmiş bir göz için bu niteliklerin açıkça fark edilebilir olduğunu ifade etmektedir. Yamamoto'ya göre en yüksek kaliteli ton balığı; yoğun parlak kırmızı bir renge sahip olup ipeksi ve parlaktır. Ayrıca Yamamoto Japonya'nın bu teknolojiyi takip etmesine şaşırmadığını, çünkü yaşlanan nüfus nedeniyle geleneksel becerilerin her zaman genç nesillere aktarılamadığını belirtmektedir (<https://tuna-scope.com/en/>).

The Asahi Shimbun'a göre, Tuna Scope'un yalnızca Kura Sushi adlı restoran zinciri için balık değerlendirmede kullanıldığını ifade etmektedir. Bu restoran zincirinde robotik bulaşık makineleri gibi diğer maliyet tasarrufu sağlayan cihazlar kullanılıyor olmasından dolayı ucuz sushi sunulduğu görülmektedir. Yine Kura Sushi'nin sushi için balıklarının yüzde 70'ini yurtdışından satın aldığı ve pandemi sırasında alıcılarının seyahat etmesi konusunda temkinli olduğunu ve pandemide bu uygulama sayesinde riske girmeden iyi değerlendirmeler yapılabildiğini ifade etmektedirler (Şekil 16).



Şekil 16. Şefler ve balıkçılar Orkinos'un kalitesini etin parlaklığı ve rengi üzerinden değerlendirirler
(<https://inbusiness.kz/ru/last/samyj-dorogoj-delikates-prodali-na-aukcione-za-1-3-mln-dollarov>)

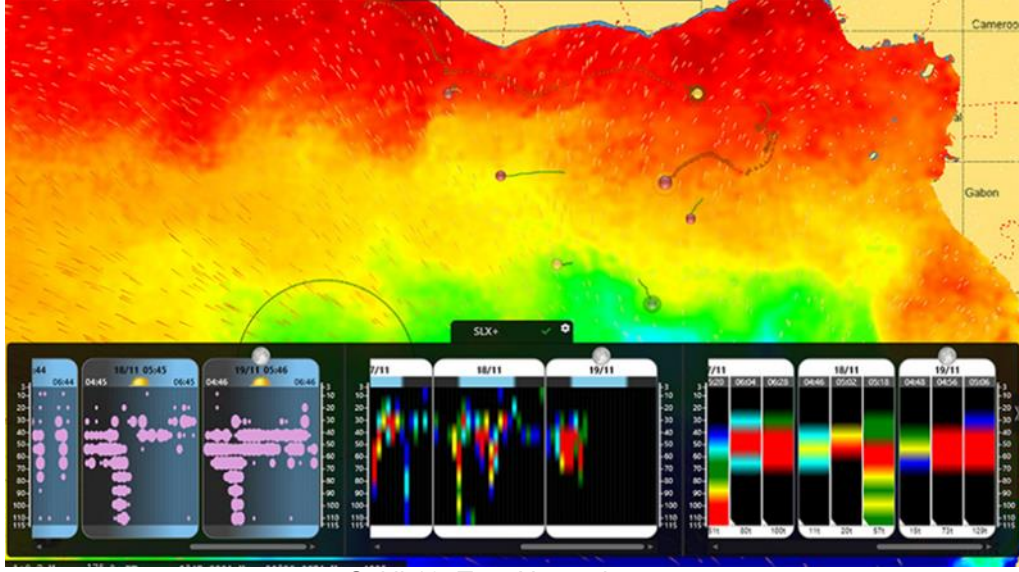
İspanya'daki Cádiz Üniversitesi ve Carlos III Üniversitesi ile iş birliği içinde Komorebi YZ'daki bir araştırmacı ekibiyle ortaklık kurarak "Tun-AI" adını verdikleri benzersiz bir yapay zeka aracı geliştirmişlerdir. Tun-AI; GPS ve uydu iletişimleriyle birleştirilen şamandıralardan gelen Orkinos bilgilerini işleyen bir yapay zeka aracıdır. Yüzyıllardır balıkçılar; tonlar da dahil olmak üzere bazı balık türlerinin okyanus yüzeyinde sürüklenen nesnelerin etrafında toplandığını bilmektedirler. Günümüzde, genellikle yüksek teknoloji yankı seslendirme şamandıralarıyla donatılmış, sürüklenen balık toplama cihazları (dFAD-Fish Aggregating Devices) adı verilen insan yapımı yüzen nesneler, balıkçılık endüstrisi için olmazsa olmaz bir araç haline gelmiş olup, küresel Orkinos avlarının %36'sına kadarını oluşturmaktadır. dFAD'ler, uzaktan Orkinos bolluğu ve konumu hakkında bilgi sağlayan yüksek teknoloji yankılı şamandıralarla donatılmış olup okyanuslara yerleştirilmiştir ve konumlarını günde en az bir kez bildirmektedirler. Ayrıca, temel olarak Orkinos ve diğer balık türleri olmak üzere, altlarındaki su sütununu periyodik olarak biyokütle için örnekleyebilecekleri bir yankı seslendirmesi içerirler. Bu bilgi, balıkçılık endüstrisi için balıkçılık verimliliğini artırmak, işletme maliyetlerini ve karbon emisyonlarını azaltmak açısından son derece yararlı olmakla birlikte aynı zamanda bilimsel olarak ta oldukça faydalıdır. Her dFAD, sürekli olarak altındaki balık biyokütlesinin konumu ile varlığı veya yokluğu hakkında bilgi iletmektedir dolayısıyla yüzen bir örnekleme istasyonu olarak düşünülebilir (Şekil 17).



Şekil 17. dFAD şamandırası

<https://www.openaccessgovernment.org/article/how-tun-ai-technology-can-be-used-to-estimate-tuna-biomass/174598/>

dFAD'lere bağlı uydu bağlantılı yankı seslendirme şamandıralarından gelen okyanus akıntıları, su sıcaklığı ve fitoplankton varlığı gibi biyolojik ve oşinografik veriler birleştirilmektedir. Şamandıraların sağladığı bilgilerin doğruluğunu ve tahminlerin güvenilirliğini daha da artırmak için bu yapay zeka aracı balıkçılık sektörü tarafından sağlanan on yıllık av verileriyle donatılmıştır. Testlerde Tun-AI, dFAD altında Orkinos'un varlığı veya yokluğu arasında ayırım yaparken %92'nin üzerinde doğruluk elde etmiştir. Gerçek ölçümlerle karşılaştırıldığında ve sahada doğrulandığında, aracın şamandıranın altındaki Orkinos miktarını tahmin ederken ortalama %28'lik bir hatasının olduğu görülmüştür. Böylece Orkinos biyokütlesini çok doğru bir şekilde tanımladığı ve şamandıranın altında bulunabilecek diğer balık türlerinden ayırt edebildiği için de; balıkçı teknelerinin ticari açıdan daha az önemli türlerin avını azaltmasına yardımcı olabileceği de görülmüştür. Görevi aynı olan insanlarla karşılaştırıldığında Tun-AI'nın, otomatik bir şekilde Orkinos biyokütlesinin güvenilir tahminlerini elde ederek muadillerinden daha iyi performans gösterdiği saptanmıştır. Bu performans ve kullanım kolaylığı, Tun-AI'ı dFAD şamandıralarının sağladığı bilgilerden en iyi şekilde yararlanmak isteyen araştırmacılar için güçlü bir araç haline getirmektedir.



Şekil 18. Tun-AI uygulaması

(<https://www.openaccessgovernment.org/article/how-tun-ai-technology-can-be-used-to-estimate-tuna-biomass/174598/>)

Orkinos'un bir dFAD etrafında kümelenmeye başlamasının ne kadar sürdüğünü izlemek ve bu kümelenmenin ne kadar süre devam edeceğine bakmak için Tun-AI tarafından sağlanan tahminler kullanılmaktadır. Tun-AI, dünya çapında Orkinos türlerinin incelenmesini uygun maliyetli bir şekilde mümkün kılacak sağlam ve sürekli verilere erişim imkânı sunmaktadır (Gómez-Ullate Oteiza, 2023) (Şekil 18).

Orkinosların et kalitesinin belirlenmesinde de yapay zekadan yararlanılmaktadır. TUNA SCOPE; orkinosların et kalitesini tespit etmeye yarayan bir yapay zeka aracı olup uygulama Japonya ve denizaşırı ülkelerdeki çeşitli yerlerde tanıtılmıştır. Daha sonra, teknoloji mavi yüzgeçli Orkinos konusunda uzman olmayı hedeflemiştir. Mavi yüzgeçli Orkinos'un değeri yalnızca kırmızı etin kalitesine değil, aynı zamanda yağ içeriğine de bağlıdır. Kaliteyi bu iki farklı noktada değerlendirmek, yıllarca deneyime sahip profesyonel kişiler için bile oldukça zordur. Ayrıca, hızlı dondurulmuş Orkinos'un aksine, çiğ Orkinos kuyruğunun enine kesitinin yüzeyindeki en ufak bir fark, enine kesitin görünümünü değiştirebilmektedir. Bu zorluğun üstesinden gelebilecek yeni bir YZ modeli geliştirmek için çok miktarda veri gerekmektedir (Şekil 19).



Şekil 19. Tuna SCOPE uygulaması (<https://tuna-scope.com/en/>)

Japonya'nın en büyük toptan deniz ürünleri pazarı olan Toyosu Pazarı'na hergün gelen mavi yüzgeçli orkinos kuyruklarının kesit görüntüleri ve uzman denetçilerin sonuçları sürekli olarak toplanarak sisteme iletilmiştir. Yaklaşık iki yıllık veri toplamının ardından "yağ içeriği ve kırmızı et kalitesi" olmak üzere iki noktaya dayalı bir yapay zeka kalite değerlendirme algoritması oluşturulmuştur.

Mart 2023'te Nagasaki Eyaleti, Takashima'da, Sojitz Tuna Çiftliği Takashima'da yeni TUNA SCOPE AI modeli piyasaya sürülmüştür. Doğal mavi yüzgeçli orkinosların aksine, çiftliklerde yetiştirilen orkinosların yetiştirilme koşulları, besleme miktarı ile besleme zamanı, su sıcaklığı gibi faktörler sıkı bir şekilde kontrol edilmektedir. Orkinos tek tek yakalanıp hazırlandığından, kalite veya tazelikte neredeyse hiçbir değişiklik olmamakta ve yıl boyunca lezzetli Orkinos'un istikrarlı bir şekilde tedarik edilmesi sağlanmaktadır. TUNA SCOPE'un YZ değerlendirme teknolojisi, çiftliklerde yetiştirilen Orkinos'un işlenmesi ve gönderilmesinde kullanılmıştır. Çiftlik ton balıkları; yağ içeriği ve kırmızı et kalitesi açısından en yüksek kalitede olduğu değerlendirilenler "YZ Mavi Yüzgeçli Orkinos" olarak etiketlenmektedir.

Akuakültür için YZ tabanlı izleme ve kontrolün her alanında teknoloji hızla ilerlemektedir. Modern cihazlar

artık balık ve karideslerin boyut, şekil, pozisyon ve davranışlarının stereoskopik gözlemini mümkün kılmaktadır. “Sonar kameralar” ses yankılarını video görüntülerine dönüştürerek karanlık veya bulanık ortamlarda kullanılabilir. Su kalitesi izleme, otonom araçlar kullanılarak kafeslerde ve büyük tanklarda üç boyutlu veri profilleri oluşturmak için sensörlerin yükseltilip alçaltılmasıyla üç boyutta yapılabilir.

Wu ve diğ.(2022), YZ'nin akuakültürdeki ve potansiyel kullanımlarını detaylı bir şekilde araştırmışlardır. Birçok cihazın manuel aktivitelerden mekanizasyona, otomasyona ve nihayetinde akıllı ekipmanlara olan teknolojik evrimini özetlemişlerdir. Araştırmacıların yaptığı önemli bir gözlem, insansız ekipman kullanımıyla geliştirilmiş biyogüvenlik potansiyelidir ve otonom robotların geliştirilmesi ağ kafes çiftliği sektöründe hızla genişlemektedir. Bu birimler; ölümleri, yenmemiş yemleri ve birikmiş atıkları toplamak ve çıkarmak, ayrıca ağ temizliği yapmak suretiyle hijyenik koşulların korunmasında büyük potansiyele sahiptir. Maliyetler bazı operasyonlar için hala biraz yüksek olsada, önümüzdeki yıllarda düşmesi beklenmektedir.

Sagun orkinos besiciliği 1 ve 2 olarak Gerence Körfezi'nde kurulmuş olup 5000 ton kapasiteye sahip bir çiftliktir. Bir kafeste ortalama 1500 adet balık bulunmaktadır. Besi yapılan balık boyları 50-500 kg arasında değişmekte ve hergün yaklaşık olarak 150 ton sardalya, uskumru, ringa vb balıklardan oluşan yem balığı orkinoslara verilmektedir (Şekil 20). Bu çalışma; ileride Türkiye’de yapılacak uygulama çalışmalarına ışık tutma niteliği taşımaktadır.



Şekil 20. Sagun Group orkinos çiftliği (Orijinal)

Etkili izleme teknikleri, sürdürülebilir su ürünleri yetiştiriciliği uygulamaları için hayati önem taşır; hastalıkların erken tespit edilmesini, besleme stratejilerinin optimize edilmesini ve çevresel etkilerin en aza indirilmesini sağlar (Wang ve ark. 2021). Su ürünleri yetiştiriciliğinde geleneksel izleme yöntemleri genellikle manuel gözlemlere dayanır; bu da zaman alıcı, emek yoğun ve insan hatasına açık olabilir. Ayrıca, bu yöntemler gerçek zamanlı veri sağlayamayabilir, bu da değişen koşullara ve potansiyel sağlık sorunlarına anında yanıt verme yeteneğini sınırlar (Wu ve ark. 2022). Bu nedenle, akuakültürde balık büyümesini ve sağlığının izlenmesini geliştirmek için gelişmiş teknolojilere duyulan ihtiyaç giderek artmaktadır. Yapay zeka (YZ), su ürünleri yetiştiriciliği uygulamalarında devrim yaratma potansiyeline sahip dönüştürücü bir teknoloji olarak ortaya çıkmıştır. YZ, makinelerin insan zekasını taklit etmesini, verilerden öğrenmesini ve otonom

kararlar almasını sağlayan bir dizi tekniği kapsamaktadır (Janiesch ve ark. 2021). Akuakültür operatörleri, YZ'den yararlanarak gerçek zamanlı verilere, tahmine dayalı analitiklere ve karar destek sistemlerine erişebilir ve bu da üretkenliği, sürdürülebilirliği ve kârlılığı artırabilir (Panudju ve ark. 2023).

Genel olarak yapay zeka, su ürünleri yetiştiriciliğinde verimliliği, sürdürülebilirliği ve üretkenliği artırma potansiyeline sahiptir. Gelişmiş analitik, gerçek zamanlı izleme ve tahmin yeteneklerinden yararlanan yapay zeka, su ürünleri yetiştiricilerini bilinçli kararlar almaları ve balık çiftliği operasyonlarındaki riskleri azaltmaları için değerli bilgiler ve araçlarla güçlendirebilmektedir.

Sonuç olarak, yapay zekanın balık büyümesi ve sağlık durumunun izlenmesindeki rolü, sürdürülebilir su ürünleri yetiştiriciliği uygulamalarında devrim yaratmaya hazırlanıyor. Yapay zeka teknikleri, balık çiftliği operasyonlarını optimize etmek, üretkenliği artırmak ve çevresel etkileri en aza indirirken balık refahını artırmak için önemli bir potansiyel sunar. Yapay zeka, makine öğreniminin, veri analizinin ve otomasyonun gücünden yararlanarak, optimum balık sağlığı ve büyümesini sağlamak için gerçek zamanlı izlemeye, hastalıkların erken tespiti, hassas besleme stratejilerine ve proaktif müdahalelere olanak tanır.

Su ürünleri yetiştiriciliği araştırma ve üretiminde yapay zeka (YZ); hem yeni kurulan şirketlerin hem de köklü şirketlerin sektör için yeni YZ tabanlı uygulamalar geliştirmesiyle son yıllarda daha önemli hale gelmiştir. Bu çalışmada ortaya çıkarılan genel sonuç son yıllarda su ürünleri yetiştiriciliğinde yapay zekanın kullanımının artırılması ve verimli kullanılmasına dair çalışmalar bulunmaktadır.

5. Etik Standartlara Uygunluk

a) Yazarların Katkıları: Yazar OKS çalışmayı tasarladı, HES makalenin ilk taslağını yazdı, HES istatistiksel analizleri gerçekleştirdi ve yönetti. Tüm yazarlar son makaleyi okudu ve onayladı.

b) Çıkar Çatışması: Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

c) Hayvanların Refahına İlişkin Beyan, Etik onay: Bu tür bir çalışma için resmi onay gerekli değildir.

d) İnsan Hakları Beyanı, Etik onay: Bu tür bir çalışma için resmi onay gerekli değildir.

e) Yapay Zeka Kullanmadıkları Beyanı: Yazar(lar), bu makalenin yazımında, görsellerin, grafiklerin, tabloların ya da bunlara karşılık gelen başlıkların oluşturulmasında herhangi bir tür üretken yapay zeka kullanmadıklarını beyan eder(ler).

6. Kaynakça

- Austin, B., Lawrence, A., Can, E., Carboni, C., Crockett, J., Demirtas, N., Schleder, D., Adolfo, J., Kayis, S., Karacalar, U., Kizak, V., Kop, A., Thompson, K., Ruiz, C., AM., Serdar, O., Seyhaneyildiz, Can S., Watts, S., Yucel Gier, G. 2022. Selected topics in sustainable aquaculture research: Current and future focus: Sustainable Aquaculture Research. *Sustain Aquat Res* 1(2):74–125. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7032804>.
- Basurko, O.C., Gabina, G., Lopez, J., Granado, I., Murua, H., Fernandes, J.A., Krug, I., Ruiz, J., Uriondo, Z., 2022. Fuel consumption of free-swimming school versus FAD strategies in tropical tuna purse seine fishing. *Fish. Res.* 245 <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2021.106139>.
- Bell, J.D., Watson, R.A., Ye, Y. (2017). Global fishing capacity and fishing effort from 1950 to 2012. *Fish Fish.* 18(3), 489-505.
- Block, B. A., Dewar, H., Blackwell, S. B., Williams, T. D., Prince, E. D., Farwell, C. J., Fudge, D. (2001). Migratory movements, depth preferences, and thermal biology of Atlantic bluefin tuna. *Science*, 293(5533), 1310-1314.
- Chauhan, R.S., Mishra, A. 2022. New innovative technologies for sustainable aqua production. In *Biodiversity*. CRC Press, pp 97–111.
- Chen, C.T., Gu, G.X. 2020. Generative deep neural networks for inverse materials design using backpropagation and active learning. *Adv Sci* 7(5):1902607.
- Chen, F., Sun, M., Du, Y., Xu, J., Zhou, L., Qiu, T., Sun, J. (2022). Intelligent feeding technique based on predicting shrimp growth in recirculating aquaculture system. *Aquaculture Research*, 53(12), 4401-4413.

- Chen, J. C., Chen, T. L., Wang, H. L., Chang, P. C. (2022). Underwater abnormal classification system based on deep learning: A case study on aquaculture fish farm in Taiwan. *Aquacultural Engineering*, 99, 102290.
- Claro, R., 1994. Características generales de la ictiofauna. p. 55-70. In R. Claro (ed.) *Ecología de los peces marinos de Cuba*. Instituto de Oceanología Academia de Ciencias de Cuba and Centro de Investigaciones de Quintana Roo.
- Coro G., Large S., Magliozzi C., Pagano P., (2016b), Analysing and forecasting fisheries time series: purse seine in Indian Ocean as a case study, *ICES Journal of Marine Science*, 73, 2552-2571.
- Coro G., Magliozzi C., Berghe E.V., Bailly N., Ellenbroek A., Pagano P., (2016a), Estimating absence locations of marine species from data of scientific surveys in OBIS, *Ecological Modelling*, 323, 61-76.
- Coro G., Pagano P., Ellenbroek A., (2013a), Combining simulated expert knowledge with neural networks to produce ecological niche models for *Latimeria chalumnae*, *Ecological Modelling*, 268, 55-63.
- Coro G., Pagano P., Ellenbroek A., (2018a), Detecting patterns of climate change in long-term forecasts of marine environmental parameters, *International Journal of Digital Earth*, 13, 1-19.
- Coro G., Palma M., Ellenbroek A., Panichi G., Nair T., Pagano P., (2019), Reconstructing 3D virtual environments within a collaborative e-infrastructure, *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, 31, e5028.
- Coro G., Vilas L.G., Magliozzi C., Ellenbroek A., Scarponi P., Pagano P., (2018b), Forecasting the ongoing invasion of *Lagocephalus sceleratus* in the Mediterranean Sea, *Ecological Modelling*, 371, 37-49.
- Coro, G. (2020). Open Science and Artificial Intelligence Supporting Blue Growth. *Environmental Engineering and Management Journal*, 19(10), 1719-1729.
- Darapaneni, N., Sreekanth, S., Paduri, A. R., Roche, A. S., Murugappan, V., Singha, K. K., & Shenwai, A. V. (2022). AI based farm fish disease detection system to help micro and small fish farmers. In 2022 Interdisciplinary Research in Technology and Management (IRTM) (pp. 1-5). IEEE.
- Dellermann, D., Ebel, P., Söllner, M., Leimeister, J.M. 2019. Hybrid intelligence. *Bus Inf Syst Eng* 61:637–643.
- Desse J. and Desse-Berset, N 1994. Stratégies de pêche au 8ème millénaire les poissons de Cap AndreasKastros (Chypre). In: Le Brun A (eds) *Fouilles récentes à Khirokitia*, Editions Recherche Sur Civilisations.Vol. 3; pp. 335-360. Paris, France.
- Erauskin-Extramiana, M., Chust, G., Arrizabalaga, H., Cheung, W.W., Santiago, J., Merino, G., Fernandes-Salvador, J.A., 2023. Implications for the global tuna fishing industry of climate change-driven alterations in productivity and body sizes. *Glob. Planet. Chang.* 222, 104055 <https://doi.org/10.2139/ssrn.4059543>.
- FAO, (2020a), The Protected Areas Impact Maps Virtual Research Environment, i-Marine Gateway, On line at: <https://imarine.d4science.org/web/protectedareaimpactmaps>.
- FAO. 2023. Using artificial intelligence to assess FAO's knowledge base on the technology accelerator. Rome. <https://doi.org/10.4060/cc6724en>
- FAO, 2024. Food And Agricultural Commodity Systems, <https://www.undp.org/facs?> (Erişim tarihi: 15.06.2024).
- Froese, R. and D. Pauly. Editors. 2024. FishBase. World Wide Web electronic publication. www.fishbase.org, version (06/2024).
- Fromentin, J.M. and C. Ravier. 2005. The East Atlantic and Mediterranean bluefin tuna stock: looking for sustainability in a context of large uncertainties and strong political pressures. *Bulletin of Marine Science* Vol.76; pp. 353-362.
- Gladjua, J., Kamalamb, B.K., Kanagara, A. 2022. Applications of data mining and machine learning framework in aquaculture and fisheries: A review, *Smart Agricultural Technology*, 2, 100061.
- Goikoetxea, N., Goienetxea, I., Fernandes-Salvador, J. A., Goñi, N., Granado, I., Quincoces, I., Caballero, A. (2024). Machine-learning aiding sustainable Indian Ocean tuna purse seine fishery. *Ecological Informatics*, 81, 102577.

- Gonçalves, D. N., Acosta, P. R., Ramos, A. P. M., Osco, L. P., Furuya, D. E. G., Furuya, M. T. G., Gonçalves, W. N. (2022). Using a convolutional neural network for fingerling counting: A multi-task learning approach. *Aquaculture*, 557, 738334.
- Granado, I., Hernando, L., Galparsoro, I., Gabina, ~ G., Groba, C., Prellezo, R., Fernandes, J.A., (2021). Towards a framework for fishing route optimization decision support systems: review of the state-of-the-art and challenges. *J. Clean. Prod.* 320, 128661 <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128661>.
- Honarmand Ebrahimi, S., Ossewaarde, M., Need, A., 2021. Smart fishery: a systematic review and research agenda for sustainable fisheries in the age of AI. *Sustainability* 13 (11), 6037. <https://doi.org/10.3390/su13116037>.
- Huang, Y. P., & Khabusi, S. P. (2025). Artificial Intelligence of Things (AIoT) Advances in Aquaculture: A Review. *Processes*, 13(1), 73.
- Janiesch, C., Zschech, P., Heinrich, K. 2021. Machine learning and deep learning. *Electron Mark* 31(3):685–695.
- Kaur, R., Kumar, R., Gupta, M. 2023. Deep neural network for food image classification and nutrient identification: A systematic review. *Rev Endocr Metab Disord* 1–21.
- Lee, P. G., Lea, R. N., Dohmann, E., Prebilsky, W., Turk, P. E., Ying, H., Whitson, J. L. (2000). Denitrification in aquaculture systems: an example of a fuzzy logic control problem. *Aquacultural Engineering*, 23(1-3), 37-59.
- Magliozzi C., Coro G., Grabowski R.C., Packman A.I., Krause S., (2019), A multiscale statistical method to identify potential areas of hyporheic exchange for river restoration planning, *Environmental Modelling and Software*, 111, 311-323.
- Magliozzi, C., Coro, G., Grabowski, R. C., Packman, A. I., & Krause, S. (2019). A multiscale statistical method to identify potential areas of hyporheic exchange for river restoration planning. *Environmental Modelling & Software*, 111, 311-323. Coro ve diğ., 2015
- Mather F.J, Mason J.M. and Jones A.C. (1995). Historical document: life history and fisheries of Atlantic bluefin tuna. Miami: NOAA Technical Memorandum 370, USA.
- McCauley, D. J., Woods, P., Sullivan, B., Bergman, B., Jablonicky, C., Roan, A., ... & Worm, B. (2016). Ending hide and seek at sea. *Science*, 351(6278), 1148-1150.
- Munoz-Benavent, P., Andreu-García, G., Valiente-González, J. M., Atienza-Vanacloig, V., Puig-Pons, V., & Espinosa, V. (2018). Automatic Bluefin Tuna sizing using a stereoscopic vision system. *ICES Journal of Marine Science*, 75(1), 390-401.
- Muñoz-Benavent, P., Martínez-Peiró, J., Andreu-García, G., Puig-Pons, V., Espinosa, V., Pérez-Arjona, I., Ortega, A. (2022). Impact evaluation of deep learning on image segmentation for automatic bluefin tuna sizing. *Aquacultural Engineering*, 99, 102299.
- Mustapha, U.F., Alhassan, A.W., Jiang, D.N., Li, G.L. 2021. Sustainable aquaculture development: a review on the roles of cloud computing, internet of things and artificial intelligence (CIA). *Rev Aquac* 13(4):2076–2091.
- O'Donncha, F., Stockwell, C.L., Planellas, S.R., Micallef, G., Palmes, P., Webb, C., Grant, J. 2021. Data driven insight into fsh behaviour and their use for precision aquaculture. *Front Anim Sci* 2:695054.
- Panudju, A.T., Rahardja, S., Nurilmala, M. 2023. Decision support system in fsheries industry: Current state and future agenda. *Int J Adv Sci Eng Inf Technol* 13(2).
- Parker, R. W., & Tyedmers, P. H. (2015). Fuel consumption of global fishing fleets: current understanding and knowledge gaps. *Fish and Fisheries*, 16(4), 684-696.
- Rojon, I., & Smith, T. W. P. (2014). On the attitudes and opportunities of fuel consumption monitoring and measurement within the shipping industry and the identification and validation of energy efficiency and performance interventions. <https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/1472842/>
- Suuronen, P., Chopin, F., Glass, C., Løkkeborg, S., Matsushita, Y., Queirolo, D., & Rihan, D. (2012). Low impact and fuel efficient fishing—Looking beyond the horizon. *Fisheries research*, 119, 135-146.
- Telesca, J. E. (2020). *Red gold: The managed extinction of the giant Bluefin Tuna*. U of Minnesota Press.

https://books.google.com.tr/books?hl=tr&lr=&id=VhbaDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT5&ots=00vbQdD1IT&sig=cq9xNZGokX_QGwRq6t0pLcRyM9Q&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false

- Tilve, M., Rastogi, S., Gautam, R. S. (2024). Role of Artificial Intelligence in the Healthcare Sector in India: A Futuristic Study. In 2024 ASU International Conference in Emerging Technologies for Sustainability and Intelligent Systems (ICETSYS) (pp. 1787-1791). IEEE. West, DM and Allen, JR (2018) How artificial intelligence is transforming the world. Center for Technology Innovation, The Brookings Institution
- Uranga, J., Arrizabalaga, H., Boyra, G., Hernandez, M. C., Goni, N., Arregui, I, Santiago, J. (2017). Detecting the presence-absence of bluefin tuna by automated analysis of medium-range sonars on fishing vessels. PloS one, 12(2), e0171382.
- Wang, C., Li, Z., Wang, T., Xu, X., Zhang, X., Li, D. 2021. Intelligent fish farm—The future of aquaculture. Aquacult Int 1–31.
- Wu, Y., Duan, Y., Wei, Y., An, D., Liu, J. (2022). Application of intelligent and unmanned equipment in aquaculture: A review. Computers and Electronics in Agriculture, 199, 107201.
- Xu, G., Chen, Q., Yoshida, T., Teravama, K., Mizukami, Y., Li, Q., & Kitazawa, D. (2020). Detection of bluefin tuna by cascade classifier and deep learning for monitoring fish resources. In Global Oceans 2020: Singapore–US Gulf Coast (pp. 1-4). IEEE.
- Yue, K., Shen, Y. (2022). An overview of disruptive technologies for aquaculture. Aquacult Fish 7(2):111–120.
- Zadeh, LA (1965) Fuzzy sets. Information and Control, 8:338-353 <https://tuna-scope.com/en/> (Erişim tarihi: 15.04.2024).
- Zhang, S., Yang, X., Wang, Y., Zhao, Z., Liu, J., Liu, Y., Zhou, C. 2020. Automatic fish population counting by machine vision and a hybrid deep neural network model. Animals 10(2):364.

Aquaculture in Çanakkale: Current Status and Future Perspectives

Ebru Yılmaz^{1*}  Fatma Burcu Harmantepe² 

Abstract: This study was conducted to examine the current status of aquaculture in Çanakkale province and to offer solutions that will contribute to the aquaculture sector's development. The study involved a detailed analysis of the aquaculture facilities in Çanakkale and the data related to these facilities. The province's current aquaculture structure and potential were highlighted, drawing attention to the diversity in aquaculture production and the opportunities available in the region. The study revealed that there are a total of 18 aquaculture facilities in Çanakkale. Of these, 38.9% are involved in mussel farming, 27.8% in trout farming, 22.2% in carp farming, 5.6% in lugworm farming, and 5.6% in the cultivation of seabass, gilthead seabream, turbot, and grouper. The highest production by species occurs in mussel farming, while lugworm and marine fish farming remain at the lowest levels. A total of 581.92 tons of aquatic products were produced in Çanakkale in 2023, 292.76 tons of which were from inland waters and 289.16 tons from sea waters. However, it was determined that the share allocated to the sector in the support payments made in the same year was 5.61%. It has been determined that global climate change and the accompanying drought threaten the freshwater resources in Çanakkale province, and the marine ecosystem is also affected by the mucilage phenomenon due to the increase in water temperature and organic pollution load. These problems experienced in water resources cause production losses in the aquaculture sector. The sustainable development of the aquaculture sector in Çanakkale, which also has a wide range in terms of cultivated species, requires a multidisciplinary approach and planning using advanced technology tools. It is anticipated that such an approach will provide significant increases in aquaculture production.

Keywords: Çanakkale, aquatic products, aquaculture, production

Çanakkale'de Su Ürünleri Yetiştiriciliği: Mevcut Durum ve Gelecek Perspektifleri

Özet: Bu çalışma, Çanakkale ilinde su ürünleri yetiştiriciliğinin mevcut durumunu incelemek ve sektörün gelişimine ışık tutacak çözüm önerileri sunmak amacıyla gerçekleştirilmiştir. Araştırma kapsamında, Çanakkale'deki su ürünleri yetiştiriciliği işletmeleri ve bu işletmelere ait veriler detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. İlin mevcut yetiştiricilik yapısı ve potansiyeli ön plana çıkarılarak, su ürünleri üretimindeki çeşitliliğe ve bölgenin sahip olduğu fırsatlara dikkat çekilmiştir. Çalışmada, Çanakkale genelinde toplam 18 su ürünleri yetiştiricilik tesisi bulunduğu tespit edilmiştir. Bu tesislerden %41,2'sinin midye, %23,5'inin alabalık, %23,5'inin sazan, %5,9'unun kum kurdu ve %5,9'unun da levrek, çipura, kalkan ve granyöz yetiştiriciliği yaptığı belirlenmiştir. Tür bazında en yüksek üretim midye yetiştiriciliğinde gerçekleşirken, kum kurdu ve deniz balıkları yetiştiriciliği en düşük seviyede kalmıştır. 2023 yılında, Çanakkale'de toplam 581,92 ton su ürünleri üretimi gerçekleşmiş, bunun 292,76 tonu içsularda, 289,16 tonu ise denizlerde üretilmiştir. Ancak, aynı yıl yapılan destekleme ödemelerinde, sektöre ayrılan payın %5,61 olduğu tespit edilmiştir. Küresel iklim değişikliği ve beraberinde gelen kuraklığın Çanakkale ilindeki tatlısu kaynaklarını tehdit ettiği, denizel ekosistemin de su sıcaklığındaki yükseliş ve organik kirlilik yükündeki artış nedeniyle yaşanan müsilaj olayından etkilendiği tespit edilmiştir. Su kaynaklarında yaşanan bu sıkıntılar yetiştiricilik sektöründe üretim kayıplarının yaşanmasına neden olmaktadır. Kültüre alınan türler bakımından da geniş bir yelpazeye sahip olan Çanakkale'de yetiştiricilik sektörünün sürdürülebilir gelişimi multidisipliner bir yaklaşım ve ileri teknoloji araçları kullanılarak yapılacak planlamaya ihtiyaç duymaktadır. Bu tür bir yaklaşımın, su ürünleri üretiminde kayda değer artışlar sağlayacağı öngörülmektedir.

Anahtar kelimeler: Çanakkale, su ürünleri, yetiştiricilik, üretim

Article Info (Research)

1 Ordu University, Fatsa Faculty of Marine Sciences, Department of Fisheries Technology Engineering, Ordu / Türkiye

2 Çanakkale Onsekiz Mart University, Biga Vocational School, Department of Food Processing, Çanakkale / Türkiye

* Corresponding author:

ebruylmaz@odu.edu.tr

Citation: Yılmaz, E., Harmantepe, F. B., (2025), Aquaculture in Çanakkale: Current Status and Future Perspectives, Memba Water Sciences Journal, 11, (1) 116–129.

<https://doi.org/10.58626/memba.1649378>

Submission Date: 2 March 2025

Acceptance Date: 24 March 2025

Publishing Date: 28 March 2025

1. Introduction

Aquaculture is one of the important sectors that provide continuous input to the economy of all countries today (Çöteli, 2023). The aquaculture sector has come a long way in the last 50 years with the spread of training and the increase in technology. In the 1950s, 4 per cent of total aquaculture production, 5 per cent in the 1970s, 19 per cent in the 1990s and 44 per cent in the 2010s were obtained from aquaculture. In 2021, 50% (91.2 million tonnes) of the 182 million tonnes produced was obtained from fishing and 50% (approximately 90.9 million tonnes) was obtained from aquaculture (FAO, 2024). Looking at the world aquaculture production data for 2022; it is seen that a total of 185,452,672 tons of products were obtained, with 91,037,271 tons from hunting and 94,415,401 tons from aquaculture (DGFA, 2024). In its published report, FAO announced that it expects total fisheries and aquaculture production, excluding algae, to increase gradually and reach 202 million tons in 2030, and that most of this increase will come from aquaculture (FAO, 2022).

According to the data of the Federation of European Aquaculture Producers (FEAP), Turkey is one of the leading countries in aquaculture in Europe. Turkey, which has a very high position especially in sea bream and sea bass production, competes with major producers such as Norway and Greece. Norway is the European leader in cold water fishing and salmon production and has the largest production volume thanks to its developed infrastructure. Turkey, on the other hand, has come to the fore in Europe with its specialization in species specific to the Mediterranean climate (especially sea bream and sea bass) and its farming methods suitable for warm climates. Turkey's focused production strategy in these species makes the country a strong player in the Mediterranean region (FEAP, 2023).

In recent years, there have been significant developments in aquaculture systems in our country, the transfer of fish farms in the seas to open and deep waters has necessitated the use of new techniques suitable for these conditions, and improvements have been made by applying advanced technology in the size and structure of net cages, net and feeding systems (Bilgüven and Can, 2018). Aquaculture production in Turkey increased by 8% in 2023 compared to the previous year and reached 1,010,346 tons. Total production by hunting reached 454,059 tons in 2023, and total production by aquaculture reached 556,287 tons. In Turkey, 55% of aquaculture production originates from aquaculture, 72% of this production is provided from the seas and 28% from inland waters. Looking at the data for 2023, the amount of aquaculture production in our seas is 399,529 tons, and in our inland waters it is 156,758 tons, and the production in our seas is higher than the amount of production in our inland waters for the last 10 years. The most important fish species cultivated in Turkey are trout with 152,566 tonnes in inland waters, sea bass with 160,802 tonnes and sea bream with 154,011 tonnes (DGFA, 2024). According to 2023 data, the most produced species are mussels with 8,738 tonnes, meagre with 6,149 tonnes and tuna with 3,674 tonnes (TURKSTAT, 2023). In recent years, mussel farming has gained importance in our country in terms of healthy, reliable and sustainable product supply. Apart from the production by hunting, aquaculture production has also started in our seas (Serdar and Yıldırım, 2018). Rainbow trout, which was started to be cultivated in concrete ponds in fresh waters, has become possible to be cultivated in seawater thanks to the accumulation of knowledge and technological developments in production techniques. Today, it is offered to the global market with the Turkish Salmon brand (FCRI, 2012; Yıldırım and Çantaş, 2022). Turkish salmon is the leading species cultivated in the sea in the Black Sea Region, and according to the data of the Eastern Black Sea Exporters' Association (DKİB), it is exported to 48 countries (Erol and Eruz, 2024).

Çanakkale has an important aquaculture potential as a land and sea area due to being the second largest fishing center in the Marmara Region after Istanbul and having the longest coastline after Muğla. The Çanakkale Strait, which connects the Marmara Sea to the Aegean Sea, allows a wide variety of aquaculture species to live with its relatively less salty surface waters coming from the Black Sea and more salty bottom waters coming from the Mediterranean and its different hydrographic structure, and in this respect, it also forms the migration route of many species. The fish species provided in the province are trout, anchovy, mullet, sea bass, bluefish, swordfish, chub mackerel, bonito, sardine. Depending on its aquaculture potential, Çanakkale province has aquaculture processing and evaluation facilities that have received EU approval numbers. There are 105 facilities in Turkey that export to EU member countries, 9 of which are in Çanakkale province (Anonymous, 1998; Kelkit, 2011; Anonymous, 2023a). Çanakkale, which has Mediterranean mussel beds along its entire coast, has a great potential in terms of mussel farming. This feature of Çanakkale province, together with the Balıkesir coast, made it the region where the first Mediterranean mussel culture was carried out in Turkey (Yıldız et al., 2023).

It is important to know the species and production amounts of aquaculture products obtained through aquaculture in Çanakkale region, which covers a large area, in terms of planning to be made to obtain high efficiency in the aquaculture sector in the region, which has a rich potential. In this context, the current status of the aquaculture sector, its place and development in the aquaculture sector of our country, and

recommendations for the sustainable growth of the aquaculture sector in the province were analysed by using data on water resources in the province, number of aquaculture facilities, settlements, fry and actual capacities, species grown, total production amounts and values of aquaculture products, and support payments made to aquaculture products.

2. Materials and Methods

2.1 Working area

The working area consists of aquaculture facilities established in natural and artificial water resources in the centre and districts of Çanakkale province. Çanakkale is a province with lands on the Gallipoli Peninsula, which is connected to the Eastern Thracian lands of the Balkan Peninsula by an isthmus, and the Biga Peninsula, which is the western extension of Anatolia. The province covers 993,318 hectares on either side of the Çanakkale Strait, the waterway linking the Aegean Sea and the Sea of Marmara, spanning both Europe and Asia (Anonymous, 2023a). The total coastal length of the province, which has both Marmara and Aegean Sea coasts, is 671 km (Figure 1) (Anonymous, 2024a; Anonymous, 2024b).



Figure 1. Map of Çanakkale province and districts (Anonymous, 2024c)

Within the provincial borders, Kocabaş Stream, Bayramdere, Umurbey Stream and Sarıçay are located in the Northern Marmara Basin in the Biga Peninsula, and Kara Menderes Stream, Tuzla Stream and Mıhlı Stream are located in the Southern Marmara Basin. The river resources in the province and districts are given in Table 1.

Table 1. Rivers of Çanakkale Province (Anonymous, 2023b)

River Name	Total length (km)	Length within the province borders (km)	Max. flow (m ³ /s)	Place of origin	Place of discharge
Kara Menderes Stream	109	109	1530	Kazdağı	Çanakkale Strait
Tuzla Stream	80	80	1400	Kırburun	Aegean Sea
Sarıçay	40	40	1300	Küçükburun	Çanakkale Strait
Kocabaş Stream	84	84	1345	Kaynarca	Marmara Sea
Mıhlı Stream	28	12	75	Kazdağı	Edremit Gulf
Kavak Stream	50	18	1100	Ballı	Saros Gulf
Bayramdere	11	11	1.123	Taşlıburun	Marmara Sea
Büyükdere	10	10	1.048	Genişdağ	Kaleköy
Çınardere	28	28	0.791	Sisalandağı	Marmara Sea
Tayfurdere	19	19	0.642	Ağılyeri	Çanakkale Strait
Umurbey Stream	22	22	16.677	Avcı Tepesi	Çanakkale Strait
Kocaçay	62	62	4.584	Bardakçı	Kocabaş Stream

Agonya Stream	148	70	2.304	Katrandağı	Ortaca
---------------	-----	----	-------	------------	--------

Although there is no significant lake in the province, there are salt lakes that dry up in the summer in the Gelibolu Peninsula and Gökçeada (Anonymous, 2023b). There are a total of 30 ponds built by the Provincial Directorate of Village Services and the DSI 252nd Branch Directorate within the provincial borders. 22 of these ponds were built by the Village Services and 8 by the DSI (Akbulut et al., 2006; DSI, 2024). There are 5 underground water resources and they are shown in Table 2.

Table 2. Groundwater potential of Çanakkale province (Anonymous, 2023b)

Source Name	Water Potential (hm ³ /year)
Bayramiç – Evciler – Ayazma Spring	50.08
Yenice Çınar Spring	0.41
Yenice – Ilıca Spring	1.04
Geyikli – Pınarbaşı – Kırkgözler Spring	0.63
Karadag Village Water Resource Areas	4.20

Information on the current water resources and their status in Çanakkale province was obtained from the Çanakkale 25th Regional Directorate of State Hydraulic Works (DSI), data on aquaculture facilities and production quantities of aquaculture products (2013-2023) were obtained from the General Directorate of Fisheries and Aquaculture (DGFA), the Çanakkale Provincial Directorate of Agriculture and Forestry, and also the Fisheries and Aquaculture Statistics of Turkey and the Çanakkale Turkish Statistical Institute (TURKSTAT) data portal and relevant institutions. Data were analyzed using Microsoft Excel software, percentages were calculated and interpreted in tables and graphs.

3. Results and Discussion

According to 2024 data, there are a total of 18 aquaculture facilities in Çanakkale, including 7 mussels, 5 rainbow trout, 4 carp, 1 lugworm and 1 sea bass, sea bream, turbot and meagre. The locations of the active aquaculture facilities in the province on the map are given in Figure 2.



Figure 2. Location of Çanakkale province aquaculture facilities on the map

When the distribution of the facilities according to the province is evaluated, it is seen that the highest number of facilities are in Gelibolu and Lapseki districts with 22.22% and the lowest number of facilities are in Ezine, Çan and Ayvacık districts with 5.56% (Figure 3).

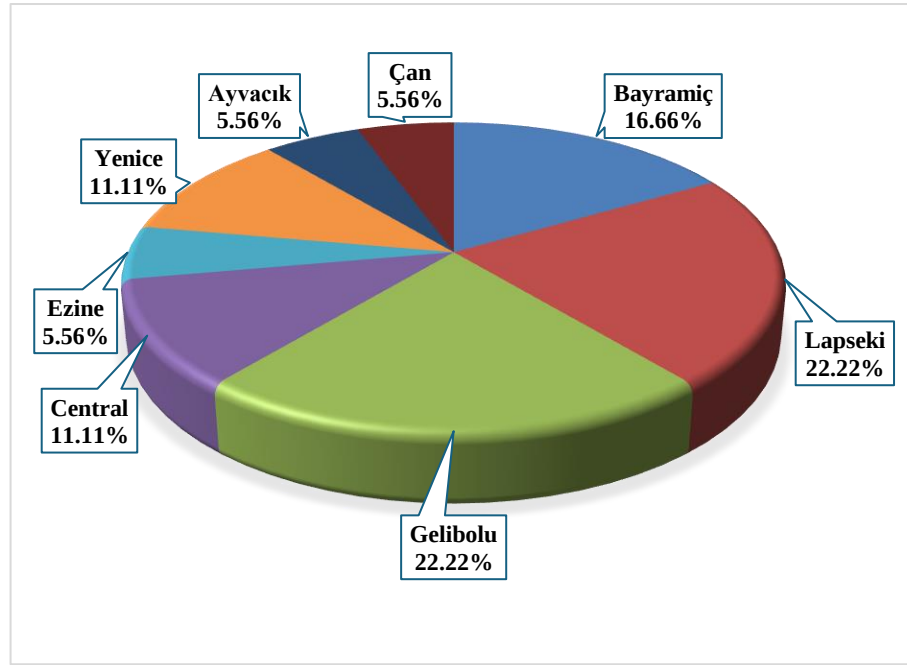


Figure 3. Distribution of aquaculture facilities by districts (%)

The locations, capacities and cultivated species of the facilities in the province are given in Table 3.

Table 3. Aquaculture facilities in Çanakkale

Facilities Number	Dist-ri-cts	Facilities Type	Offspring Ca-pacity (pcs)	Actual Capacity (kg/year)	Species
1	Bayra-miç	Concrete pool	800.000	64.000	Rainbow trout
2	Bayra-miç	Concrete pool	500.000	7.000	Rainbow trout
3	Bayra-miç	Concrete pool	320.000	20.000	Rainbow trout
4	Lapseki	Net cage	-	670.000	Rainbow trout
5	Çan	Concrete pool	300 000	30 000	Rainbow trout
6	Lapseki	Tank-Earth pool	39.000.000	15.000.000 21.000.000 1.000.000 1.500.000	Sea Bass Sea Bream Turbot Meagre
7	Yenice	Net cage	-	20.000	Mirror carp- Com-mon carp
8	Yenice	Net cage	-	15.000	Mirror carp- Com-mon carp
9	Lapseki	Net cage	-	25.000	Mirror carp- Com-mon carp
10	Ezine	Net cage	-	15.000	Mirror carp- Com-mon carp
11	Geli-bolu	Raft/Rope	-	1.400.000	Mediterranean Mussel
12	Geli-bolu	Raft/Rope	-	1.400.000	Mediterranean Mussel
13	Geli-bolu	Raft/Rope	-	1.500.000	Mediterranean Mussel
14	Geli-bolu	Raft/Rope	-	1.000.000	Mediterranean Mussel
15	Lapseki	Raft/Rope	-	990.000	Mediterranean Mussel
16	Central	Raft/Rope	-	1.000.000	Mediterranean Mussel
17	Central	Raft/Rope	-	1.000.000	Mediterranean Mussel
18	Ayvacık	Earth pool	-	35.000	Lugworm

It is seen that mussel farming is the most common and sandworm and sea fish farming are the least common in the province. The percentage distribution of these facilities is as follows; 38.9% mussels, 27.8% rainbow trout, 22.2% carp, 5.6% sea bass, sea bream, turbot and garnet and 5.6% sandworm (Figure 4) (Anonymous, 2024d; Yıldız et al., 2023).

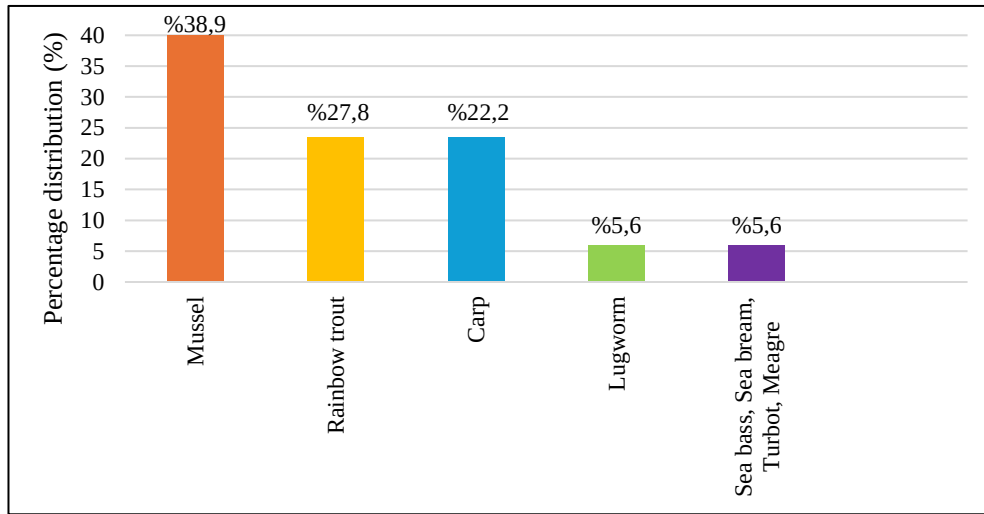


Figure 4. Distribution rates of aquaculture facilities in Çanakkale province (%)

The number of mussel (*Mytilus galloprovincialis*) farming facilities in the sea using raft/rope system is 7 in the province. The distribution of mussel farming facilities by districts is as follows; 4 in Gelibolu (57.1%), 2 in the centre (28.6%) and 1 in Lapseki (14.3%). It is seen that mussel farming is more widespread in Gelibolu district. In addition, there are 6 mussel farming facilities in the province with preliminary permits and rented premises that are in the installation phase. 3 of them are in Çanakkale Central (below Karacaören), 2 in Lapseki (below Güreçe, Güreci village - Tırıpça) and 1 in Gelibolu (Çamlık 2) (Anonymous, 2024d). Çanakkale is the region where the first Mediterranean mussel culture was carried out in our country (Yıldız et al., 2023). Yıldız et al. (2023) and Yıldız and Lök (2005) reported that Çanakkale, which has Mediterranean mussel beds all along its coast, is a region with ideal conditions for mussel farming. In addition, the increase in the domestic demand for mussels leads to an increase in the economic value of mussels (Yıldız and Lök, 2005).

According to TURKSTAT 2023 aquaculture production data, mussel farming in our country was 8,738 tonnes (TURKSTAT, 2023). According to the 'Aquaculture Facilities' table for December 2024, which is regularly updated by the Ministry of Agriculture and Forestry, the number of facilities engaged in mussel farming in the seas in our country is 53 (Anonymous, 2024e). Of these facilities, 30 (60%) are located in the Marmara Region, 18 (36%) in the Aegean Region and 5 (10%) in the Black Sea Region. In the Marmara Region, mussel farming is carried out in 4 provinces and these provinces and the number of facilities are as follows; Balıkesir 12, Çanakkale 7, Yalova 7 and Bursa 4. In the Aegean Region; It is carried out in 2 provinces, 13 in İzmir and 5 in Muğla. In the Black Sea Region, there are 5 production facilities, 4 facilities and 1 university facility in Sinop alone. It is seen that the most intensive mussel farming in Turkey is carried out in the Marmara Region. Çanakkale province stands out as the second most intensive farming province in this region and constitutes 23.3% of the mussel farming carried out in the Marmara Region. The mussel farming production amounts (tons) in the province between 2017-2023 are shown in Figure 5. The highest production was achieved in 2020 with 1371 tons.

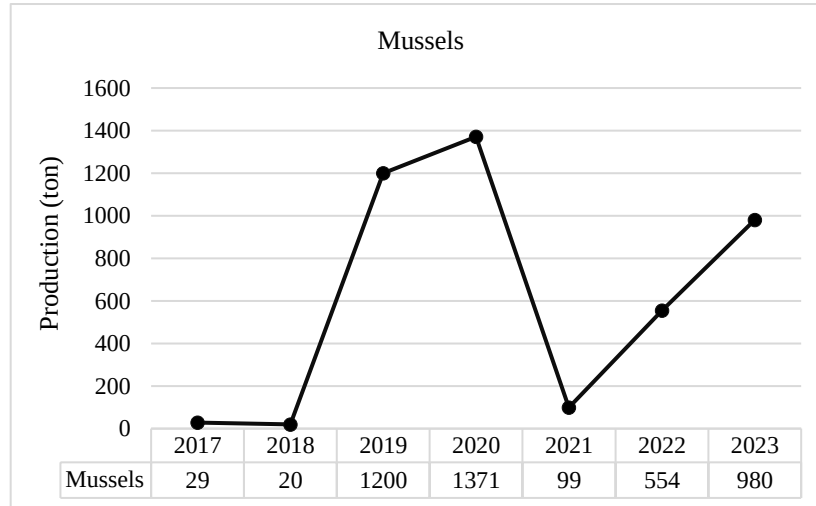


Figure 5. Mussel farming production in Çanakkale province between 2017-2023 (tons)

There are 5 farms in the province that farm rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). The distribution of rainbow trout farming facilities by districts is as follows; 3 in Bayramiç, 1 in the Lapseki and 1 in Çan. The water source of the 3 farms located in Bayramiç is the Ayazma stream, which is a branch of the Kara Menderes stream, Ayazma Küçükçay water and Bıkkidere. The facility in Çan is located in Şeftali Creek, a branch of the Kocabaş Stream, and the facility in Lapseki is located in the Umurbey Dam Lake. The facilities in Bayramiç and Çan cultivate trout in concrete ponds on land, while the company in Lapseki cultivates trout in net cages in the pond. All of the rainbow trout farming in the region is carried out in inland waters. The two facilities in Bayramiç and the facilities in Çan are small-scale facilities. The facilities in Lapseki, which carries out aquaculture in net cages in the lake, is a large-scale facilities with a capacity of 670 tonnes/year. In his study, Yüksel (2022) stated that approximately 13% of the world's trout production is carried out in our country and that our country has an important place in the world trout farming sector. The European Aquaculture Federation (FEAP) December 2023 report states that Turkey was the country with the highest trout, sea bass and sea bream farming in 2022 and that trout production was 127,000 tons (FEAP, 2023). According to TURKSTAT's 2023 aquaculture output statistics, rainbow trout farming in inland waters amounted to 152,566 tons (TURKSTAT, 2023). Demir (2023) and Yıldırım and Çantaş (2022) reported that 471,686 tons of aquaculture was carried out in our country in 2021 and that 35% of this production was trout farming, that trout farming was carried out in a total of 68 provinces, and that Elazığ (26,500 tons; 16%) ranked first in rainbow trout farming. Furthermore, an analysis of DGFA (2024) aquaculture statistics reveals that there are 2,385 operational aquaculture facilities, comprising 1,831 in inland waters and 554 in the seas. According to the Ministry's 2023 data in the Marmara Region; There are 61 rainbow trout facilities. Çanakkale province constitutes 8.2% of the trout farming in the Marmara Region. The rainbow trout farming quantities (tons) in the province between 2013-2023 are shown in Figure 6. The highest production was 700 tons in 2016.

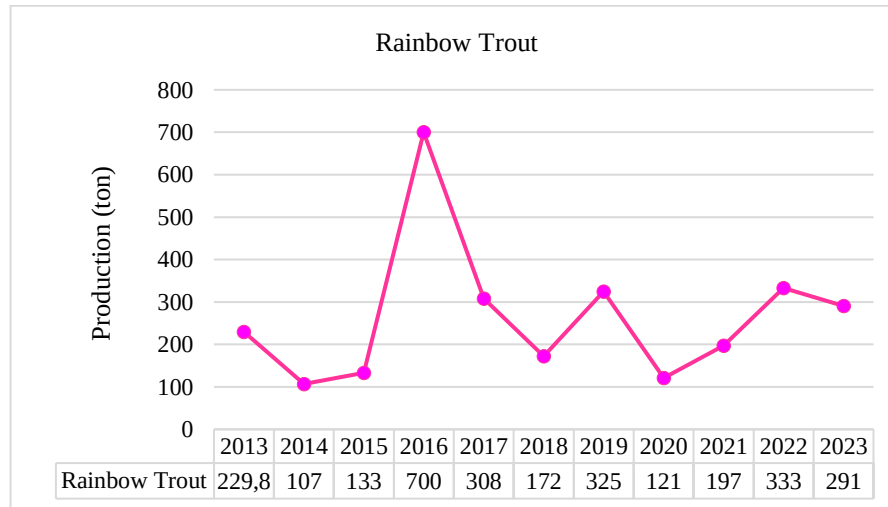


Figure 6. Rainbow trout aquaculture production in Çanakkale province between 2013-2023 (tons)

The number of facilities breeding carp fish (*Cyprinus carpio*) in the province is 4. The facilities are located in Yeniceköy pond and Çınarcık pond in Yenice, Nusratiye Dişbudak pond in Lapseki and Kemallı pond in Ezine. It has been determined that these ponds built for irrigation purposes are rented by carp farming facilities for 5-15 years, the minimum water amounts vary between 2-5.60 hectares, and the facilities in Yeniceköy pond is semi-intensive and the others are extensive (Anonymous, 2023a). According to TURKSTAT 2023 aquaculture production data, carp farming in inland waters was 216 tons (TURKSTAT, 2023). In the whole country, the number of carp farming facilities is 57 (Anonymous, 2024e). Of these facilities, 19 (33%) are located in Marmara, 15 (26%) in Aegean, 9 (16%) in Central Anatolia, 8 (14%) in Mediterranean, 4 (7%) in Southeastern Anatolia and 5 (10%) in Eastern Anatolia. According to the data of the Ministry 2023, it was reported that 19 carp fish facilities in the Marmara Region were distributed in 6 provinces. These provinces and the number of facilities are Edirne 9, Çanakkale 4, Tekirdağ 2, Sakarya 2, Kocaeli 1 and Bursa 1. Çanakkale province accounts for 21% of the carp farming in the Marmara Region. The amount of carp fish farmed in the province between 2013 and 2023 (tonnes) is shown in Figure 7. The highest production was 9 tonnes in 2020.

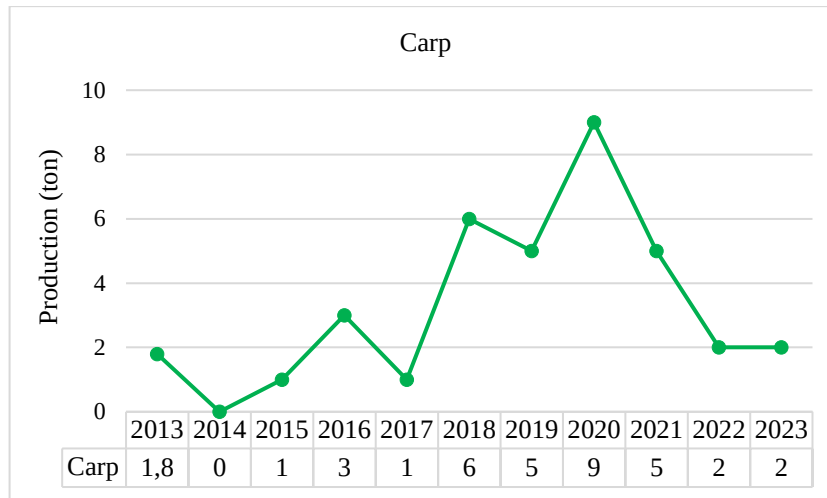


Figure 7. Carp farming production in Çanakkale province between 2013-2023 (tons)

Another aquaculture facilities in the province is located in Lapseki district. In this facilities, sea bass (*Dicentrarchus labrax*), sea bream (*Sparus aurata*), turbot (*Psetta maxima*) and meagre (*Argyrosomus regius*) are farmed in tanks and earthen ponds. There are 104 hatcheries (marine and freshwater) across the country. Of these hatcheries, 27 are marine fish hatcheries and have a capacity of 1.028.250.000 fry/year and 140.402.000 eggs/year (Yüksel, 2022). In 2022, Turkey produced 156,000 tonnes of portion sea bass, 230,000 tonnes of juvenile sea bass, 134,000 tonnes of portion sea bream and 240,000 tonnes of juvenile sea bream (FEAP, 2023). According to the 2023 aquaculture production data for our country, sea bass ranked first with a production of 160,802 tonnes, while sea bream ranked third with 154,011 tonnes (DGFA, 2024). According to TURKSTAT, 2024a data, the amount of sea bass and sea bream farming (tonnes) in Çanakkale province between 2013-2022 are given in Figures 8 and 9. An analysis of the figures reveals that production has fluctuated over the years, with sea bass production reaching its highest level in 2021 (19 tonnes) and sea bream production peaking in 2020 (33 tonnes). Çanakkale province contributes to the production potential of our country, which is the leader in Europe in terms of sea bream and sea bass farming, albeit at a low level.

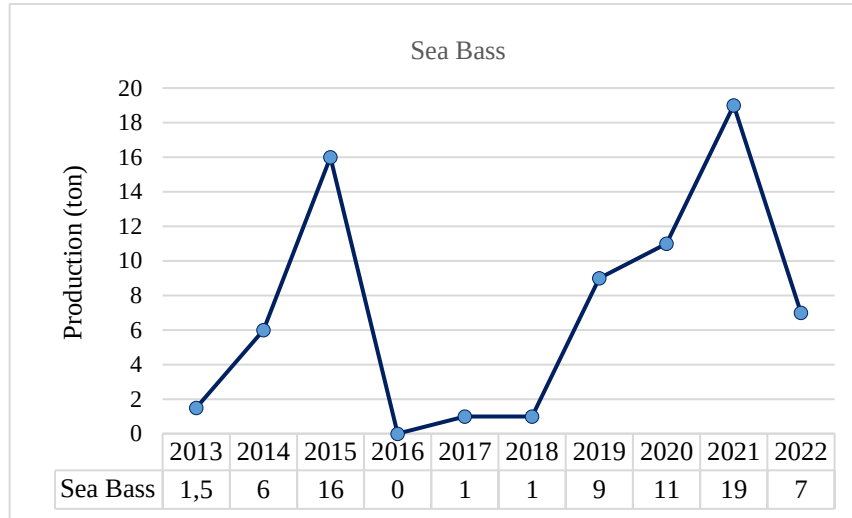


Figure 8. Sea bass aquaculture production in Çanakkale province between 2013-2022 (tons)

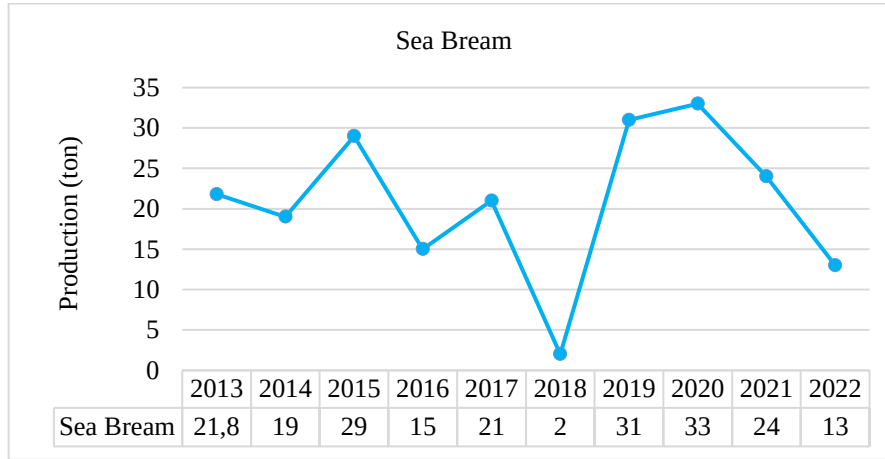


Figure 9. Sea bream aquaculture production in Çanakkale province between 2013-2022 (tons)

According to TURKSTAT's aquaculture production data for the year 2024, meagre aquaculture in Turkey was 6,149 tonnes (TURKSTAT, 2024a). According to the FEAP December 2023 report; Turkey ranks second after Spain in meagre (*Argyrosomus regius*) fish farming (FEAP, 2023). When the aquaculture facilities report for 2024 published by the Ministry of Agriculture and Forestry is examined; it is seen that there are 102 meagre facilities in our country, 97 of these facilities are in the Aegean Region, 4 in the Mediterranean Region and 1 in the Marmara Region. Meagre cultivation is mostly done in the provinces of Muğla, İzmir and Aydın in the Aegean Region, and the number of facilities is 72, 18 and 7, respectively. While Muğla province ranks first in terms of facilities, Çanakkale province ranks last. There is no data on the production amount of meagre fish in Çanakkale province, including previous years.

Turbot, one of the most valuable commercial flatfish species of our country, is attracting attention as a potential species for stock increase and aquaculture (Aydın et al., 2019). Turbot farming is carried out in 2 facilities in our country, one in earthen ponds in Muğla in the Aegean Region and the other in earthen ponds and tanks in Çanakkale in the Marmara Region. In addition, turbot is raised for research and fish breeding purposes at the Trabzon Fisheries Research Institute within the Ministry. No data was found on the amount of turbot production in Türkiye and Çanakkale province.

Lugworm (*Arenicola marina*) cultivation is also carried out in earthen ponds in the Ayvacık district of Çanakkale province. This facilities is the only facilities in our country that breeds lugworm.

The production quantities (tons) of the species cultivated in Çanakkale province between 2013 and 2023 are given in Figure 10. The figure highlights that the production quantities of the species vary significantly over the years. It is observed that the highest production between 2013 and 2023 was in rainbow trout (inland) and mussel species. Mussels reached their highest production amount (1371 tons) in 2020, but production amount (99 tons) decreased suddenly in 2021. The reason for this decline may be due to the mucilage event seen in the Marmara Sea that year, which negatively affected the marine ecosystem. Koncagül et al., (2022) stated in their research on mucilage that mucilage was seen in the Marmara Sea

in 2021, that the mucilage spread over an area of kilometers affected the marine ecosystem, that the mucilage settled on the sea bottom and caused living creatures to be deprived of oxygen, and that creatures such as mussels that clean the seas could not perform their functions as a result of their surfaces being covered with mucilage.

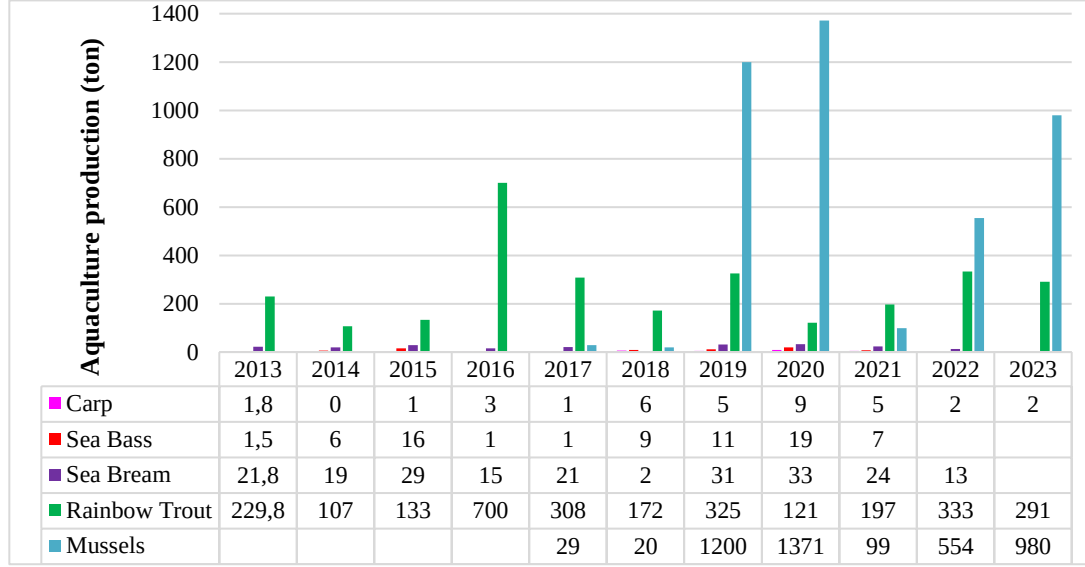


Figure 10. Aquaculture production quantities of Çanakkale province between 2013-2023 (tons)

Total aquaculture production amount and total production value of Çanakkale in 2023 are given in Table 4.

Table 4. Total production amount and total production values of aquaculture in Çanakkale province

Product Name	Total Production Amount (ton)	Total Production Value (TL)
Inland Aquaculture	292,76	18.151.074,00
Mariculture	289,16	11.156.827,63
Total	581,92	29.307.901,63

The total production amount obtained from inland aquaculture in 2023 was 292.76 tonnes and the total production value was 18,151,074.00 TL. The total production amount obtained from mariculture is 289.16 tonnes and the total production value was 11,156,827.63 TL. The total amount of aquaculture production was 581.92 tonnes and the total value of aquaculture production was 29,307,901.63 TL. In 2023, the amount of inland aquaculture production was higher than the amount of marine aquaculture production. The aquaculture sector has been included in the scope of support since 2003 (Çöteli, 2023). The fisheries support data within the scope of rural development support provided in Çanakkale between 2016-2023 are shown in Table 5.

Table 5. Fisheries support payments in Çanakkale province by year (TL)

Year	Fisheries Support Payments (TL)
2016	166.573
2017	522.629
2018	464.737
2019	872.130
2020	714.000
2021	1.979.575
2022	925.700

Of the total support amount of 3,788,418 TL for 2023, 212,666 TL was for aquaculture support. The remaining part (3,575,752 TL) belonged to traditional coastal fishery support. In 2023, while the share allocated for coastal fisheries was 94.4 %, the share allocated for aquaculture was as low as 5.61 %, which was quite remarkable. In the Aquaculture Specialization Commission report, it was emphasized that there has been a significant increase in production with the increase in support provided to the aquaculture sector, and that increasing and diversifying production in a way that takes environmental sustainability into account should be among the main priorities (Anonymous, 2014). In addition, Çöteli (2023) stated that the types and amounts of support given to aquaculture in our country are effective in preventing the pressure of the increase in feed costs on prices, and that rearranging the supports given according to the FCR rate and aquaculture costs will contribute greatly to the development of aquaculture. In 2023, our country's aquaculture import amount was 105,252 tons and export amount was 272,192 tons (TURKSTAT, 2024b). According to these economic data, exports were seen to be more than twice the amount of imports. In 2023, the annual import rate in Çanakkale was 92,075 tons and the export rate was 203,785 tons, and in the same year, Çanakkale's marine product farming import rate was 17,290 tons and the export rate was 28,967 tons. It was determined that 19% of the imports and 14% of the exports in the province were provided from mariculture. The graph of import and export data of mariculture in Çanakkale province between 2019-2023 is given in Figure 11.

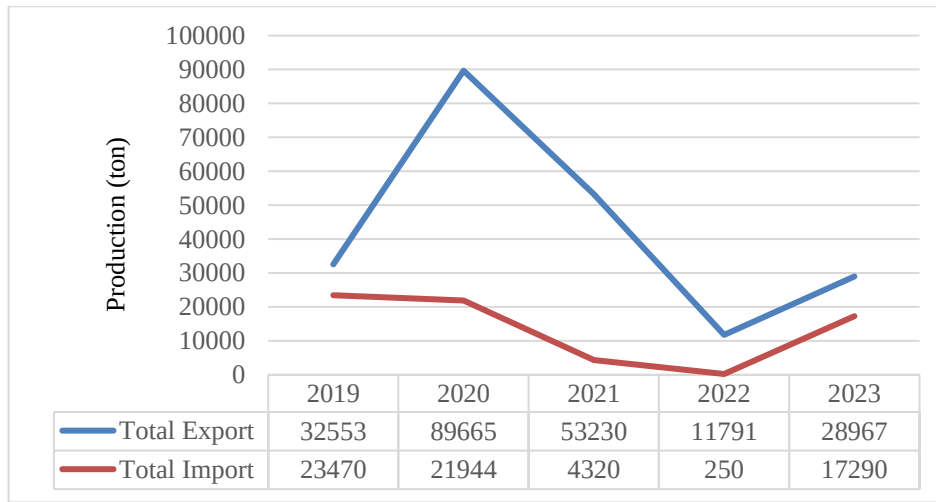


Figure 11. Import and export data of marine products farming in Çanakkale between 2014-2023 (tons)

4. Conclusion

Within the scope of the research, Çanakkale province aquaculture facilities and the data belonging to these facilities were comprehensively discussed. In addition, information was provided on issues such as the province's water resources, aquaculture facilities in districts, support rates, import and export quantities, and evaluations were made. In the research, it was seen that Çanakkale province has a rich perspective in terms of the diversity of aquatic products cultivated. This shows that the region has potential to be evaluated based on alternative species in terms of aquaculture.

Çanakkale has a great potential for the development of the aquaculture sector with its 671 km coastline. Examining the facilities reveals that the majority are mussel production facilities operating with raft/rope systems at sea. In particular, the fact that sea water in the region contains suitable properties for mussel cultivation and that mussel cultivation has the advantages of being more economical and easier than the cultivation of other species has led to the increase of this type of cultivation in the region. It seems that Çanakkale has the potential to come to the forefront with mussel farming in our country's aquaculture sector. The studies to be carried out by the Ministry to identify and open new mussel farming areas in the region will allow the aquaculture sector to develop further in the field of mussel farming and will also contribute to the national economy. In addition to the existing facilities, there are 6 mussel farming facilities that have received project approval, are in the preparation phase, and have not yet started production. After completing the necessary preparations as soon as possible, these facilities will start production and make a significant contribution to both the region and the sector in terms of employment and production. Minimizing the problems encountered in mussel production by establishing bilateral cooperation between

the Ministry and the University and conducting studies on the development of new and alternative production technologies can contribute to the development of mussel farming. In addition, carrying out training activities to train expert and educated personnel in mussel farming within the scope of cooperation between the ministry, university and private sector may enable the closure of the experienced personnel gap. Increasing sea water temperatures due to climate change, stagnation in the sea and the increase in the amount of nutrients in the sea cause mucilage problems in the Marmara Sea. Although dense mucilage may negatively affect mussel farming, it is important to cultivate mussels that filter seawater to reduce mucilage formation in a planned manner to preserve the ecological balance. In Çanakkale, which serves as a gateway from the Black Sea to the Aegean Sea through the Sea of Marmara, it is important to plan facilities to be established in the marine environment in a way that does not affect maritime traffic and tourism.

In the research, it was determined that there is one marine fish production facilities in the province, where sea bass, sea bream, turbot and meagre fish are grown, and that the region's need for juvenile fish is also met to some extent. Considering the advantage of using many different cultivation environments such as earthen pools and closed circuit systems in the cultivation of this species, it is possible to increase production with new cultivation facilities to be opened in Çanakkale, where the climate conditions are also suitable. In addition, the opening of more hatcheries in Çanakkale to raise marine fish species will meet the need for juvenile fish in the sector.

Freshwater trout farming is carried out in the province, and three of the existing facilities use river water sources and one uses a dam lake water source. Additionally, it has been determined that two trout facilities have received project approval and are in the preparation phase. Carp fish are raised in 4 ponds within the provincial borders. These ponds are artificial irrigation ponds built by Village Services and DSI. As a result of the intensive use of ponds by local farmers to irrigate agricultural lands, there is a high probability that carp facilities will face water shortages in the near future. There are carp facilities in the region that have closed due to drought, and the Ministry does not accept applications for breeding in ponds due to the drought.

The aquaculture sector is one of the sectors heavily affected by global climate change. Due to drought caused by climate change, efficient use of water resources is extremely important for the continuation of biodiversity and access to healthy food. At this point, it is important to prepare water resources usage plans by considering the sustainability of both plant agriculture and aquaculture in the province. Water pollution is a major problem affecting the entire world. Both freshwater resources and seas are affected by pollution. The diversity of the elements that cause pollution makes the task even more complicated. Aquatic products grown in polluted waters can accumulate pollutants in their tissues, from heavy metals to pesticides and even microplastics. This will cause aquatic products, which are known as healthy foods, to be considered among risky foods.

For the development of the aquaculture sector in a region, the concept of a sustainable blue economy must first be well understood. This concept includes the correct and careful use of resources, better management and protection of marine and ocean ecosystems. It is a matter of debate whether these concepts are fully understood by anyone other than large companies in the aquaculture sector. It would be beneficial to organize educational seminars that aim to raise awareness among the stakeholders of the aquaculture sector in our country; on the correct use of water resources, good management of ecosystems, environmentally friendly, sustainably planned and protected, and environmentally responsible awareness, aiming to leave protected resources for future generations.

Considering the current situation, it is inevitable to make planning using advanced technology tools with a multidisciplinary perspective for the sustainable development of aquaculture in Çanakkale province.

5. Compliance with Ethical Standard

a) Authors' Contributions

E. Y.: Designing of study, Data collection, Data analysis, writing original draft preparation.

F. B. H.: Data collection, writing original draft preparation.

b) Conflict of Interest

The authors declare that there are no conflicts of interest or competing interests.

c) Ethics Committee Approval

Ethics committee approval is not necessary for this study.

d) Declaration of Not Using Artificial Intelligence

The authors declares that they did not use any type of generative artificial intelligence in the writing of this article, including the creation of visuals, graphics, tables, or corresponding titles.

6. References

- Akbulut, M., Sağır Odabaşı, S., Odabaşı, D.A., & Çelik, E.Ş. (2006). The important freshwaters of the Province of Canakkale and pollution sources. E.U. Journal of Fisheries & Aquatic Sciences, 23(1/1), 9-15.
- Anonymous, (1998). Çanakkale. Republic of Turkey Çanakkale Governorship, Örs Printing, 159 pages, İzmir.
- Anonymous, (2014). Fisheries Specialization Commission Report. Ministry of Development, Tenth Development Plan, Ankara. Accessed on: 04.01.2025, <https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2022/08/Onuncu-Kalkinma-Plani-Su-Urunleri-Ozel-Ihtisas-Komisyonu-Raporu.pdf>
- Anonymous, (2018). Çanakkale Import Products: Top 10 Products in 2018. Çanakkale Chamber of Commerce and Industry. Accessed on: 05.01.2025, https://www.canakkaletso.org.tr/Portals/340/ithalat_ithacat/2019/Çanakkale%202018%20İthalat%20Verileri%20İlk%2010.pdf
- Anonymous, (2023a). 2023 Çanakkale Briefing Report. Çanakkale Provincial Directorate of Agriculture and Forestry. Accessed on: 27.10.2024, <https://canakkale.tarimorman.gov.tr/Menu/17/Brifing>
- Anonymous, (2023b). Çanakkale Province 2022 Environmental Status Report. Republic of Turkey Çanakkale Governorship, Provincial Directorate of Environment, Urbanization and Climate Change, Çanakkale, 224 pages.
- Anonymous, (2024a). Çanakkale Population Statistics. Accessed on: 25.09.2024, <https://www.nufusu.com/il/canakkale-nufusu>
- Anonymous, (2024b). Çanakkale Governorship, Provincial Directorate of Environment, Urbanization and Climate Change. Accessed on: 25.09.2024, <https://canakkale.csb.gov.tr/genel-bilgiler-i-5368>
- Anonymous, (2024c). Districts of Çanakkale. Accessed on: 25.09.2024, https://tr.wikipedia.org/wiki/%C3%87anakkale%27nin_il%C3%A7eleri
- Anonymous, (2024d). Çanakkale Provincial Directorate of Agriculture and Forestry, Fisheries and Aquaculture Department, Çanakkale.
- Anonymous, (2024e). Ministry of Agriculture and Forestry, Topics, Fisheries, Aquaculture, Aquaculture Facilities. Accessed on: 26.12.2024, <https://www.tarimorman.gov.tr/Konular/Su-Urunleri/Su-Urunleri-Yetistiriciliği>
- Aydın, İ., Polat, H., & Sahin, T. (2019). Reproductive Performance of Wild and Hatchery-Reared Black Sea Turbot, *Psetta maxima*, in the Southern Black Sea Coast. Turk. J. Fish. & Aquat. Sci. 20(5), 351-357. http://doi.org/10.4194/1303-2712-v20_5_03
- Bilgüven, M., & Can, G. (2018). Replacement of Fish Meal by Poultry By-product in Trout Feeds. Journal of Agricultural Faculty of Bursa Uludag University, 32(2), 189-200.
- Çötel, F.T. (2023). Product report, fisheries, Agricultural Economics and Policy Development Institute (AEPDI), Publication No: 373, Ankara.
- Demir, M. (2023). The current status of fisheries production in Van, Türkiye. COMU Journal of Marine Sciences and Fisheries, 6(1), 15-23. <https://doi.org/10.46384/jmsf.1223550>
- DGFA, (2024). Ministry of Agriculture and Forestry, General Directorate of Fisheries and Aquatic Products, Information Documents, Fisheries Statistics. Ankara.
- DSI, (2024). General Directorate of State Hydraulic Works, 25th Regional Directorate, 252nd Branch Çanakkale.
- Erol, S., & Eruz, C. (2024). Potential in the Black Sea Aquaculture Sector and the Financial and Economic Analysis of Turkish Salmon Exports. International Journal of Economics and Innovation, 10(1), 47-64. <https://doi.org/10.20979/ueyd.1370684>
- FAO, (2022). The state of world fisheries and aquaculture 2022. Towards Blue Transformation. Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/cc0461en>
- FAO, (2024). Fishery and aquaculture statistics – yearbook 2021. FAO Yearbook of Fishery and Aquaculture Statistics. Rome. <https://doi.org/10.4060/cc9523en>
- FCRI, (2012). TR90 Eastern Black Sea Region Fisheries Sector Report Contract No: TR90/11/DFD/21, Trabzon: Fisheries Central Research Institute.
- FEAP, (2023). <https://feap.info/index.php/feap-annual-reports/>, Accessed on: 25.09.2024.
- Kelkit, A. (2011). A Research on The Relation of Industry and Environment in Çanakkale City. Atatürk University Journal of Agricultural Faculty, 34(2), 179-186.
- Koncagül, M., Erdem Dülger, N., & Yinanç, A. (2022). Formation and the Effect of Musilage in Marmara Sea and in the World. European J. Eng. App. Sci., 5(2), 73-79.

- Serdar, S., & Yıldırım, Ş. (2018). An increasing trend in Turkey mussel culture. The 2nd International Fisheries Symposium, Girne, Kıbrıs, 4-8 Kasım. pp: 1-2.
- TURKSTAT, (2023). Fisheries statistics, aquaculture production 2022-2023. Accessed on: 20.09.2024, <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Su-Urunleri-2023-53702>
- TURKSTAT, (2024a). Fisheries statistics, aquaculture production quantity, Çanakkale. Accessed on: 20.09.2024, <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=97&locale=tr>
- TURKSTAT, (2024b). Foreign trade statistics. Accessed on: 20.09.2024, <https://biruni.tuik.gov.tr/disticaretapp/menu.zul>
- Yıldırım, Ö., & Çantaş, İ.B. (2022). Investigation of Production and Economic Indicators of Rainbow Trout Farming in Türkiye. Acta Aquatica Turcica, 18(4), 461-474.
- Yıldız, H., & Lök, A. (2005). Growth and survival rates of different size classes of black mussel (*Mytilus galloprovincialis*, Lamarck, 1819) at two culture systems in Dardanelles. E.U. Journal of Fisheries & Aquatic Sciences, 22(1-2), 69 -74.
- Yıldız, H., Acarlı, S., Doyuk, S.A., Kuyumcu, N.S., & Vural, P. (2023). The past, present, and future of Mediterranean mussel (*Mytilus galloprovincialis*) farming in Çanakkale. In Çanakkale Fisheries, Aquaculture, and Maritime Studies (pp. 273-290). Nobel Scientific Works.
- Yüksel, T. (2022). Value chain analysis of trout aquaculture in Turkey (Master's thesis). Marmara University, Institute of Science, Department of Fisheries, Fisheries Program, 98 pages.

Cihanbeyli'nin (Konya) Tarihi Süreç İçerisinde Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği**Hacı Ahmet Şimşek^{1*}  , Sariye Uçar² **

Özet: Çalışma alanı olarak belirlenen Cihanbeyli ilçesi, Konya ili sınırları içerisinde yer almaktadır. Cihanbeyli ilçesi sınırları içerisinde yapılan ilgili literatür çalışmasında, Cihanbeyli'nin farklı kültürlerin bir arada yaşadığı zengin bir tarihe sahip olduğu açıkça görülmektedir. İlk çağlardan itibaren farklı medeniyetlere ev sahipliği yapmış olan ilçe, bu çeşitliliği koruyan ve farklılıklara hoşgörü gösteren kozmopolit bir yapıya sahiptir. Küresel iklim değişikliği, tüm dünyanın karşı karşıya kaldığı çok önemli bir çevre ve kalkınma sorunu olarak kabul edilmektedir. Doğal nedenler, coğrafi keşifler ve sanayileşme gibi birçok nedenden dolayı ortaya çıkan iklim değişikliği, kuraklık şeklinde ülkemizi giderek daha fazla etkilemeye başlamıştır. Sadece fiziksel bir gelişme olarak görülmemesi gereken kuraklık, insan yaşamını büyük ölçüde etkilemekte ve yaşamsal faaliyetleri ve tarımsal üretimi olumsuz etkilemektedir. Küresel iklim değişikliğinden doğrudan etkilenen iller arasında yer alan Konya iline bağlı Cihanbeyli ilçesi ve Tuz Gölü, iklim değişikliği ile ilgili gözle görülür etkileri nedeniyle çalışmamızın konusu olmuştur. Bu çalışmada Cihanbeyli ilçesinin tarihi ve etnik kökeni ele alınırken, ilçenin küresel iklim değişikliğinden ne ölçüde etkilendiği, yıllık ortalama sıcaklık, yıllık en düşük minimum sıcaklık, yıllık en yüksek maksimum sıcaklık verileri incelenmiş ve Cihanbeyli ilçesinin karşı karşıya kaldığı etkileşim analiz edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Cihanbeyli İlçesi Tarihi, Tuz Gölü, Kuraklık

The Environment, Urbanization, and Climate Change of Cihanbeyli (Konya) in the Historical Process

Abstract: The town of Cihanbeyli, which has been appointed as the domain of study, is located within the borders of Konya province. In the relevant literature study conducted within the domain of the town of Cihanbeyli, it is clear that Cihanbeyli has a rich history in which different cultures have existed together. The town, which has been home to different civilizations since the early ages, has a cosmopolitan structure that maintains this diversity and tolerates differences. Global climate change is regarded as a very crucial environmental and development problem that the whole world has been facing. The climate change, which has been generated due to many reasons such as natural causes, geographical discoveries and industrialization, has increasingly commenced to impact our country in the form of drought. Drought, which should not be regarded as only a physical development, greatly impacts human life and negatively affects the vital activities and agricultural production. The town of Cihanbeyli of Konya province and the Salt Lake, which are among the provinces directly affected by global climate change, have been the subject of our study due to their visible impacts related to climate change. In the present study, while the history and ethnic origin of the town of Cihanbeyli have been addressed, the degree to which the district has been impacted by the global climate change, the annual average temperature, the annual lowest minimum temperature, the annual highest maximum temperature data have been investigated and the interaction that the town of Cihanbeyli has faced has been analyzed.

Keywords: History of the town of Cihanbeyli, the Salt Lake, Drought, Global Climate Change.

Makale Bilgisi (Araştırma)

1 Kastamonu Üniversitesi, İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi, Felsefe Bölümü, Kastamonu / Türkiye

2 Selçuk Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi, Sanat Tarihi Bölümü, Konya / Türkiye

***Sorumlu yazar:**

simsekahmet@kastamonu.edu.tr

Alıntı: Şimşek, H. A. & Uçar, S. (2025). Cihanbeyli'nin (Konya) Tarihi Süreç İçerisinde Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği, Membeda Su Bilimleri Dergisi, 11, (1) 130–137, <https://doi.org/10.58626/memba.1652891>

Başvuru Tarihi: 6 Mart 2025

Kabul Tarihi: 24 Mart 2025

Yayın Tarihi: 28 Mart 2025

1. Giriş

İç Anadolu bölgesinin orta kısmında bulunan Cihanbeyli, Konya iline bağlı bir ilçedir. Ortalama yükseltisi 1.000 m olan geniş bir plato üzerinde kurulan ilçe, Konya İl merkezine 100 km uzaklıktadır. Tarihi süreç içerisinde sürekli bir merkez konumunda olan Cihanbeyli ilçesi gerek tarihi önemi, gerek bünyesinde barındırdığı kültürel çeşitliliği ile kozmopolit bir yapıya sahip olması ve gerekse Konya'nın tahıl ambarı olması dolayısıyla önemli bir yere sahiptir.

Cihanbeyli ile ilgili yapılan çalışmalar genellikle tarihi boyutta olup bölgenin tüm özelliklerinin ele alındığı, toplu bilgilerin yer aldığı bir kaynak bulunamamıştır. Bu açığı bir nebze de olsa kapatabilmeyi amaçlayan bu çalışmada Cihanbeyli'nin tarihine, coğrafi, demografik ya, etnik yapısına, çevre, şehircilik ve iklim değişikliği noktasında ne derece bir etkilenme altında olduğu araştırılarak sonuçları ortaya konulmuştur.

2. Materyal ve Metod

Çalışmamıza makalemizin başlıklarını hazırlayarak ve ardından konuya ilişkin kaynak taraması yapılarak başlanmıştır. Yazılı kaynakların yanında sözlü kaynakların (röportajlarında) kayıt altına alınması gerçekleştirilmiştir. Cihanbeyli ve Tuz gölü havzasında Küresel ısınma ve iklim değişiklikleri noktasında yapılan araştırmalar ve çalışmalar da incelenmiş ve sonrasında tüm bu veriler ışığında bu çalışma hazırlanmıştır. Çalışmamız sözel verilerin kullanımı yanında araştırmamızın sonuçlarında elde ettiğimiz sayısal verilerle de desteklenmiştir. Makalemiz tüm bu verilerin ortaya konulmasının ardından son derece büyük bir tehdit olan Küresel Isınma ve buna bağlı olarak gelişim gösteren iklim değişikliğinin Konya'nın tahıl ambarı olma görevini üstlenen Cihanbeyli İlçesindeki hasarlarını en aza indirmek için yapılabilecek çalışma önerileriyle tamamlanmıştır.

3. Bulgular

Yapmış olduğumuz araştırmalar sonucu elde ettiğimiz verilerde Cihanbeyli'nin ilk adının kaynaklarda Esbikeşan olarak geçtiği görülmüştür. Doğu illerinden göç ederek gelen halk, şimdiki ilçenin bulunduğu tepenin üzerindeki inlere yerleşmiştir. Bu nedenle de bir dönem ilçenin adı İnevi olmuştur. Esbikeşan ilçesi sıklıkla ilçelikten bucaklığa düşürülmüş, sonrasında yeniden ilçeliğe terfi ettirilmiştir (CK, 2002: 4).

Geçen asır içerisinde Doğu ve Güneydoğu Anadolu'dan gelerek bu yöreye yerleştirilmiş olan Canbegli (/Canbeyli) aşireti kış ve ilkbahar aylarında Tuz Gölü ve Haymana arasındaki bölgede sürülerini otlatmışlar, yazın ise Ankara'nın kuzeyinde yer alan dağlık bölgede dolaşmışlardır. Canbegli aşiretinin yerleştirildiği Böğrüdelik köyü 1928 yılında ilçe merkezi olmuştur. Cihanbeyli ise Mürseli Efendi nahiyesi adını alarak bu ilçeye bağlanmıştır. 1929 yılında Böğrüdelik ilçelikten düşürülerek Mürseli Efendi nahiyesi ilçe olmuş ve bu süre zarfı içerisinde Mürseli Efendi adı Cihanbeyli'ye dönüştürülmüştür (CK, 2002: 5).

Doğu ve Güneydoğu illerinden gelerek bölgeye yerleştirilen ailelerle Kafkaslardan ve Balkanlardan gelmiş olan ailelerin bir arada yaşadığı kozmopolit bir bölge olan Cihanbeyli ilçesi aynı zamanda Konya'nın tahıl ambarı olarak ayrı bir öneme sahiptir. Yapılan araştırmalar sonucu elde edilen verilere bakıldığında küresel ısınma ve buna bağlı gelişim gösteren iklim değişikliğinden Cihanbeyli ilçesinin de büyük ölçüde etkilendiği görülmektedir. Çalışmamızda Tuz Gölü ve çevresinde kuraklık seviyesinin tespit edilmesi yönünde önemli parametrelerden biri olan yağışın eğilim ve değişim tespiti için yıllık ortalama yağış tutarlarının ele alındığı grafikler incelenmiş bunlar çalışmamızın ilgili bölümlerinde ele alınmıştır.

3.1. Coğrafya ve Demografyası

Konya ilinin bir ilçesi olan Cihanbeyli 38-39 kuzey enlemleri ile 32-55 doğu boylamları arasında yer almaktadır (MKA, 2019: 5). İlçenin yaklaşık alanı 3000 km²'dir. İlçe merkezinin denizden yüksekliği 970 m'dir. Konya ilinin en geniş toprağa sahip ilçesi olan Cihanbeyli Konya'nın tahıl ambarı olarak bilinmektedir. Cihanbeyli, doğusunda Şereflikoçhisar ve Aksaray sınırlarının kesiştiği Tuz Gölü, batısında Yunak ve Sarayönü, kuzeyinde Kulu ve Haymana, güneyinde ise Altınekin ilçesiyle çevrilidir (CK, 2002: 14).

Cihanbeyli, kendi adını taşımakta olan geniş bir plato üzerinde kurulmuştur. İlçe, halk arasında "İnözü" olarak bilinen geniş tabanlı bir vadinin her iki yamacında ve Tuz Gölü'nün 20 km batısında yer almaktadır. İç Anadolu Bölgesi'nin denizden uzak ve deniz etkisine kapalı olan bu kesiminde yarı kurak karasal iklim görülmektedir. Yıllık ortalama sıcaklık 12,3° C' dir. Yazları sıcak ve kurak geçmekte olan ilçede kışlar soğuktur. Yıllık yağış miktarı 322,5 mm'dir. İlçeye, ortalamalar dikkate alındığında, en fazla yağış mart ve nisan aylarında düşmektedir (CK, 2002: 16). Bölgede İnsuyu ve Çorça isimli iki akarsu bulunmaktadır. Cihanbeyli'nin yakın çevresine bakıldığında irili ufaklı birçok göl ile karşılaşılabilir. Bunlardan en önemlileri Tuz, Tersakan, Bolluk ve Köpek gölleriyle Cihanbeyli Göleti'dir (Şimşek, 2011: 254).

Cihanbeyli nüfusu 2021 yılına göre 25.782 erkek ve 25.652 kadından oluşmak üzere **51.434**'tür. Bu sayı %50,13 erkek,% 49,87 kadın oranına karşılık gelmektedir (https://www.nufusu.com/ilce/cihanbeyli_konya-nufusu-Erişim: 30 Haziran 2023).

3.2. Cihanbeyli'nin Etnik Yapısı

İlçenin etnik yapısı incelendiğinde ilçe genelinde çok kültürlülüğün ön planda olduğu bir etnik yapı gözlenmektedir. İlk Osmanlı Devleti'nin yükseliş devrinde bölgeye yerleştirilmiş Oğuz boyundan gelmekte olan yerleşik aileler; ikincisi bölgeye Doğu ve Güneydoğu'dan gelen Kürt aşiretler; üçüncüsü Balkan ve Kafkas (Azerbaycan Karabağ) Türkleri; dördüncüsü Doğu Anadolu'dan gelen gelen muhacirler; beşincisi Ulu Türkistan'dan gelen Tatarlar ve bir de Konya'nın Bozkır ilçesinden göç ederek bölgeye yerleşen Bozkırlılardır ki onlar da az sayıda ailelerdir.

3.3. Yerleşik Halk

Merkezde ve civar köylerde ikamet eden halk, nüfus yoğunluğu açısından en fazla olan kesimdir. Konya ve çevresinde yer alan Türk oymakları hem Karamanoğulları Beyliği döneminde hem de Osmanlı Devleti döneminde soylu atlar yetiştirmişlerdir. Devlete ödemekle yükümlü oldukları vergilerini yetiştirmekte oldukları atlardan verdikleri için kendilerine Osmanlı Devleti tarafından "Atçekenler" ismi verilmiş ve sonradan ödenen bu vergi nakde çevrilmiştir (CK, 2002: 8). Tabii olarak Atçeken oymağının içerisinde farklı oymaklardan da katılım olmuş ve kaynaşmalar gerçekleşmiştir.

3.4. Aşiretler

Cihanbeyli ve çevresine Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgesinden göç ederek yerleşmiş olan çok sayıda aşiretten söz etmek mümkündür. Bunların en meşhur olanı Halikanlı aşiretidir. Bu aşiret Adıyaman civarından 1840'lı yıllarda gelerek bugünkü Gölyazı ve Yapalı mevkillerine yerleşmişlerdir. Günyüzü ve Kırkışla halkı ise hemen hemen aynı dönem içerisinde Şırnak'ın Silopi ilçesinde yer alan Cudi dağlarından göç ederek bugünkü bulundukları konuma yerleştirilmişlerdir. Diğer bir aşiret olan Rışvan aşireti ise 1849 yılında Malatya, Adıyaman, Kahramanmaraş ve Diyarbakır bölgesinden göç etmek suretiyle günümüzdeki Yeniceoba ve çevresine yerleşmişlerdir. Rışvan aşiretinin kolları ve o kollara mensup olan mahalleler ise şu şekildedir: Nasırlı (Yeniceoba, Karagedik, Burunsuz, Kuşça), Halikan (Gölyazı, Karacadağ, Yapalı), Ömeran (Tavşançalı, Beşkardaş, Çöpler, Altılar, Tavlıören, Zincirlikuyu), Sewkan (Bulduk, Kerpiç, Güzelyayla, Celep, Gürdoğan), Celikan (Kütükkuşağı, Atkafası, Kırkpınar, Hisar), Molikan (Kırkışla), Cütkan (Cihanbeyli, Kulu). İlçenin batısına düşen Zaferiye ve Beylioğlu mahallelerinin ise Canbegli aşiretine mensup oldukları bilinmektedir (CK, 2002: 8).

3.5. Balkan Göçmenleri

1950'li yıllarda Balkanlardan Türkiye'ye gelerek buraları yurt edinen göçmenler, devlet kontrolünde Anadolu'nun çeşitli bölgelerine yerleştirildikleri gibi Cihanbeyli ilçesine bağlı olan Tüfekçipınar (Bulgaristan'dan gelmiş olan Bulgar Türkmenleri) (Gülgönül, 2017: 78), Ayışığı (Bulgaristan'dan gelmiş olan Bulgar Türkmenleri), Pınarbaşı, İnsuyu mahallelerine yerleşmişlerdir.

3.6. Kafkas Göçmenleri (Azerbaycan Karabağ Türkmenleri)

Azerbaycan Gence/Arran Karabağ bölgesinden Anadolu'ya göç eden Bozulus'a tabi Karabağ aşiretine Anadolu'da ilk kez 1540 yılında rastlanır (Şirin, 2018: 9). Karabağ aşireti Anadolu'ya gelmesinin ardından İran'a, Azerbaycan'a ve tekrar Anadolu'ya göç etmiş ve Anadolu'nun birçok bölgesinde yerleşim göstermiştir. Aydın, Manisa, Adana, Rakka, Tarsus, Sis, İçel, Çirmen, Karaman, Kars, Iğdır, Konya Cihanbeyli, Eskişehir, Afyon Bolvadin, Emirdağ, Sultandağı'nda geldikleri bölgelere isimlerini vermek suretiyle yerleşen Azerbaycan Türkmenleri çok sayıda Karabağ isimli köyler kurmuşlardır (Şirin, 2018: 11-12). Bugün Cihanbeyli'ye bağlı olan Karabağ Mahallesi Türkmenleri bölgeye 19. yüzyıl başlarında yerleşmişlerdir (Gülgönül, 2017: 78). Konya'ya gelen Karabağ Türkmenlerini dönemin valisi Musalla Bağlı semtine yerleştirmiştir. Daha sonra Cihanbeyli'ye göç eden halk Bolluk gölü mevkiine yerleşmiştir. Burada develeri yanıkara hastalığına yakalanan Karabağlılar bu olay üzerine bugünkü mahallenin bulunduğu konuma yerleşmişlerdir.

3.7. Tatarlar

Rusya (Omsk) bölgesinden Anadolu'ya göç ederek gelen Özbekistan Tatarları 1910 yılında Cihanbeyli'ye bağlı olan Böğrüdilik köyüne yerleşmişlerdir (Gülgönül, 2017: 78). Böğrüdilik'te yaşamakta olan Tatarlar, Rus himayesinde yaşayan ecdatlarının Sibirya bölgesindeki din, dil ve kültürleri üzerinde uygulanan Rusya'nın götüğü asimilasyon politikalarına karşı göç etmeyi uygun gördüklerini ifade etmişlerdir (Kıran, 2020: 1). Sibirya'daki Müslüman Özbekler, Türkiye'ye göç edebilmek için 7 yıl kadar sıkıntılı bir süreç yaşamışlardır. 10 Kasım 1907'de Ramazan Bayramı'nda 185 erkek, 186 kadın olarak kızaklarla yola çıkmışlardır uzun ve sıkıntılı bir göç sürecinin ardından 1 Ocak 1908 yılında İstanbul'a ayak basmışlardır. Rus hükümeti ve Osmanlı Devleti'nden yerleşim izni çıkmasının ardından Tatarlar nihayet Böğrüdilik Yaylasına yerleşmişlerdir (Kıran, 2020: 8-9).

3.8. Muhacirler

Muhacirleri Ağrı ve Erzurum muhacirleri olarak ele almak gerekmektedir. Ağrı muhacirleri 1950 yılında geçim zorluğu yaşamaları nedeniyle Cihanbeyli'ye gelmişlerdir. Celali soyundan olduklarını ifade eden bu topluluğa devlet burada bir arazi tahsis etmiştir. Erzurum muhacirleri ise ilk olarak 1954 yılında Cihanbeyli bölgesine gelmeye başlamışlardır. Devletin kendilerine arazi tahsis etmesiyle birlikte yerli halk ile kaynaşarak yaşamlarını sürdürmüşlerdir (CK, 2002: 9).

3.9. Bozkırlılar

Cihanbeyli’de yaşayan halk arasında yukarıda bahsini etmiş olduğumuz gruplar dışında Konya’nın Bozkır İlçesinden göç ederek buraya yerleşmiş olanlar da bulunmaktadır. 1952 yılı ve sonrasında ekonomik problemler nedeniyle göç ederek Cihanbeyli’ye yerleşen halk, geldikleri yıllarda 80 hane dolaylarındadır. Halkın büyük çoğunluğu Karşıyaka ve Bahçelievler mahallelerinde ikamet etmektedirler. Bozkırlılar kısa süre içerisinde bölgeye uyum sağlayarak bölge halkıyla kaynaşmışlardır (CK, 2002: 9).

Sonuç olarak Cihanbeyli, bünyesinde barındırdığı bu etnik çeşitliliğe rağmen hiçbir zaman bundan rahatsızlık duymadan, birlik ve beraberliğine zarar vermeden bir bütünlük içerisinde yaşamayı başarmış ve bu konuda büyük bir örnek teşkil etmiştir. Bu bahsedilmiş olan gruplar arasında kız alıp-verme çok fazla görülmektedir ve böylece de güçlü akrabalık ilişkileri kurulmuştur.

3.10. Tarihi

İlkçağ’da Cihanbeyli

“Cihanbeyli ilçesinin kurulduğu platonun ismi antik dönemde Axylon Ovası olarak bilinmekteydi. Galatia, Lykaonia ve Frigya bölgeleri ile çevrili olan bu bölge MS IV. yüzyıldan itibaren, Bizans Döneminde Phrygia’dan ayrılarak bazı kentlerle kurulan Galatia Salutaris vilayeti içerisinde görülür. Galatia ile Lykaonia sınırı Glauma (İnsuyu) ile Petinessos (Piribeyli) idi” (Bahar, 2011: 254).

Cihanbeyli ilçesi günümüzde olduğu gibi antik dönem içerisinde de kuzey-güney ulaşımında önemli bir yere sahipti. Galatia’nın merkezi Ankara ve çevresini Lykaonia’ya bağlayan yollar üzerinde bulunmakta idi. “Hatip Yaylası, Bahadırli Yaylası, Kuru Yolu, Aktoprak, Karaçayır 1-2-3, Eski Köy, Öz, Karının Pınarı olarak bilinen bu yüzey yerleşmelerinde Roma-Bizans kültürlerine ait izlere rastlanmıştır” (Bahar, 2011: 254). Cihanbeyli ve çevresi Orta Anadolu’nun merkezinde stratejik bir konuma sahip olması; ulaşım yollarının kesişmekte olduğu bir bölgede yer alması, insanların Neolitik Çağ’dan itibaren (MÖ VII. binler) kullandıklarını bildiğimiz tuz kaynağına sahipliği gibi sebeplerden ötürü en erken devirlerden itibaren uygarlıkların dikkatini çekmiştir.

Antik kaynaklarda “Tatta” olarak adı geçen Tuz Gölü ve Cihanbeyli çevresinde Neolitik Devirden itibaren çeşitli yerleşmeler görülmüştür. Cihanbeyli-Yapalı köyündeki Ilıca Pınar’da görülen Neolitik dönem yerleşimi bu devrin izlerini taşımaktadır (Bahar, 2011: 254).

Henüz Anadolu’da yazılı belgelerin görülmediği dönemlerde MÖ III. binli yıllara ait Mezopotamya yazılı belgelerinde bölgede yer almakta olan tuz kaynaklarının önemine ilişkin bilgilere değinilmiştir. Örneğin Akad Kralı Sargon’a MÖ 2350 yıllarında yazıldığı tespit edilen bir mektupta Puruşanda’ya tuz ticaretine giden ve o bölgede mahsur kalmış olan tüccarların kraldan yardım istedikleri görülmektedir. Her ne kadar Puruşanda’nın Konya Karahöyük mü yoksa Aksaray-Acemhöyük mü olduğu konusunda farklı görüşler bulunmakta olsa da bu durum tüccarların bölgeye tuz ticareti için gelmiş oldukları gerçeğini değiştirmez (Bahar, 2011: 255).

Diğer taraftan bölge Hititler devrinde de Batı Anadolu’da güçlü bir federasyon devleti olarak hüküm süren Arzawa Devleti’ne karşı yaptıkları seferlerin üzerinde bulunan bir bölge konumundaydı. Hititler döneminde Cihanbeyli ve çevresi Zallara (Zalaraiş) olarak isimlendirilmekteydi. Zallara’nın kuzeyi Kulu bölgesi Harziuna, güneyi Konya bölgesi Lukkonıwa ve batı bölgesi Iğın-Akşehir çevresi Pitaşşa olarak adlandırılmıştı. Cihanbeyli bölgesinde Hitit dönemine ait çeşitli yerleşmeler görülmektedir. Bunlar, Gemecik mahallesindeki Kültü, Damlakuyu mahallesindeki Çorça Höyüğü, Sağlık mahallesinde Mişko, İnsuyu mahallesinde Emir Ören Höyüğü, Karatepe mahallesinde ise Karatepe Höyüğüdür. Bu yerleşmelerden yalnızca Gemecik mahallesindeki Kültü’de Hitit İmparatorluk dönemine ait çanak çömlek buluntuları tespit edilmiştir (Bahar, 2011: 255).¹

Cihanbeyli’nin Çorça, Karatepe, Mişko ve Kulu’nun Gire Gord isimli höyüklerinde Demir Çağı dönemiyle tarihlenen çanak çömlek buluntuları bu dönemde bölgedeki yerleşimin en önemli kanıtlarıdır. Bölgedeki Geç Hitit dönemi yerleşim yerlerini Frig yerleşmeleri izlemiştir. Çorça, Mişko ve Gire Gord yerleşim yerlerinde Frig dönemine ait boyalı, bezekli çanak çömlek parçaları tespit edilmiştir (Bahar, 2011: 255).

Cihanbeyli ve çevresi Roma-Bizans döneminde ulaşım yolları üzerinde olması dolayısıyla İstanbul-Antakya-Kudüs arasındaki haç yolları üzerinde bulunduğu da görülmektedir. Fakat bölge su açısından yeterli olmamasından dolayı bölgeden geçmekte olan yollar dönem dönem önemini yitirmiştir. Bu sebeple büyük askeri birlikler, çoğu zaman Tuz Gölü’nün kuzeyinden Aksaray istikametini ya da daha da güneyden Akşehir- Lâdik- Altınekin- Aksaray; Akşehir-Konya ya da Karaman- Bozkır- Beyşehir- Isparta hattını kullanmayı tercih etmişlerdir. Dolayısıyla Cihanbeyli ve çevresi tarih boyunca batı-doğu ulaşımı üzerinden Anadolu’nun kuzey-güney yol bağlantısını sağlamıştır. Günümüzde de Konya-Ankara karayolunda bu bağlantıyı görmemiz mümkündür (Bahar, 2011: 256).

¹ 2012 yılında çıkarılmış olan Büyükşehir yasasıyla köyler mahallelere dönüştürülmüştür.

3.11. İlkçağ'dan Sonra Cihanbeyli

Türklerin Anadolu'yu fethinin ardından sürekli savaşlara, en azından büyük orduların hareketlerine sahne olan Cihanbeyli (Esbikeşan) bölgesinde sürekli bir hareketlilik söz konusudur. Anadolu'yu yurt tutmuş olan ilk Türk boylarının iskânından sonra XIII. yüzyılın ikinci yarısından itibaren Cihanbeyli yine siyasi olayların yaşandığı bir bölge olmuştur (Gülgönül, 2017: 6). "İlk yerleşme ve kısmi huzur ortamından sonra Moğollar Selçuklu devletine el koymuş, tahakkümleri arttıkça huzursuzluk ve kargaşa birbirini takip etmiştir. Moğollar, özellikle 1278, 1280 ve 1286 yıllarında Konya bölgesinde büyük tahribat yapmışlardır (Turan, 1993: 447)." Bölge Moğol ve Türkmen beylerinin mücadelelerine sahne olmasının ardından XIV. yüzyıldan XV. yüzyıl sonuna kadar Osmanlı-Karamanoğlu arasındaki mücadelelerde tehlike anında rahatlıkla terkedilebilecek bir yer olarak konar-göçerlerin barındığı bir alan olmuştur. Osmanlı devleti bölgede kesin hâkimiyeti sağlamasının ardından konar-göçer yaşam tarzını benimsemiş olan Türkmenlere iyi at yetiştirdikleri için "Atçekenlik" statüsü vermiştir (Karadeniz, 1997: 116-117). Osmanlı-Karamanoğlu mücadelelerinin hemen ardından XVI. yüzyılda başlayan ve XVII. Yüzyılın ortalarına kadar devam eden Celali isyanları Cihanbeyli bölgesinin demografik özelliklerinin yeniden şekillenmesine sebep olmuştur. XVIII. yüzyıldan itibaren Celali isyanları nedeniyle boş kalan bu bölgeye Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgesinden gelen aşiretler yerleştirilmiştir. Bu aşiretler önceleri bölgeye yalnızca yaylak amaçlı yaz aylarında gelmiş, Eylül sonlarına doğru develerini yükleyerek Çukurova taraflarına Halep altına gitmişlerdir (CK, 2002: 3). Doğu illerinden göç ederek gelen halk ilçenin bulunduğu tepedeki inlere yerleşmiştir. İlk inleri ev, daha sonra ise ağıl, samanlık, ahır, depo olarak kullanmışlardır. İnlerin ev olarak kullanılması sebebiyle bölge belli bir dönem İNEVİ olarak adlandırılmıştır (CK, 2002: 4).

Cihanbeyli tarihi süreç içerisinde birçok kez ilçelikten bucaklığa, bucaklıktan ilçeliğe statü değişikliği yaşamıştır. Doğu illerinden gelen göçler sırasında Cihanbeyli'nin Böğrüdelik mahallesine, "Canbegli Aşireti" yerleştirilir. Böğrüdelik, 1928 yılında ilçe merkezi haline gelir. Cihanbeyli de "Mürseli Efendi" Nahiyesi ismini alarak Böğrüdelik'e bağlanır(CK, 2002: 4). 1929 yılında Böğrüdelik'ten ilçelik alınır, Mürseli Efendi Bucağı ilçe olur. Böğrüdelik'te bulunan Canbegli Aşiretinin adına uygun olarak Mürseli Efendi adı "Cihanbeyli'ye" dönüştürülür (CK, 2002: 5).

3.12. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği

Cihanbeyli'nin, doğusunda Tuz Gölü ve Aksaray ili, batısında Sarayönü ve Yunak ilçeleri vardır. Güneyi Altınekin ilçesi, kuzeyi Kulu ve Ankara'nın Haymana ilçeleriyle çevrilmiştir. Yüzölçümü yaklaşık 4.109 km²'dir ve Cihanbeyli yüzölçümü bakımından Türkiye' nin en büyük ilçesidir (<http://www.konya.gov.tr/cihanbeyli> Erişim: 30 Haziran 2023).

Cihanbeyli tarih boyu bucaklıktan ilçeliğe, ilçelikten bucaklığa birçok kez yer değiştirmiştir. Bu sürekli yaşanan değişim, ilçenin durumunun bir türlü netleşemiyor olması, çok büyük bir yüzölçümüne sahip olması gibi sebepler neticesinde Cihanbeyli bir türlü tam bir gelişme ve şehirleşme sağlayamamıştır.

Tarihi süreç incelendiğinde Cihanbeyli'nin ilçe oluşu Cumhuriyet tarihi ile özdeş görünmektedir. 1928 yılında Konya-Ankara karayolu yapılmıştır. Yolun yapımı ile birlikte Cihanbeyli diğer bir ismi ile (Mürseli Efendi) merkez durumuna gelmiştir. Konya-Ankara karayolu 260 kilometrelik bir yol olup bu güzergâh üzerinde hiçbir ilçe merkezi bulunmamaktadır. Devletin hizmetlerini halka rahat bir şekilde ulaştırması için özellikle sağlık ve savunma ihtiyaçlarının rahat bir şekilde giderilmesi adına bu güzergâh üzerinde bir ilçe bulunmasının faydalı olacağı düşünüldükçe Mürseli Efendi'nin ilçe olmasına karar verilmiştir. Böğrüdelik'ten ilçelik alınarak 1929 yılında Cihanbeyli ilçe olmuştur (CK, 2002: 5).

1980 yılında dönemin belediye başkanı Mustafa Kerimoğlu zamanında Cihanbeyli merkezine uzak olan yerlere beldeler kurulmuş ve bu bölgeler kasaba belediyeleri şeklinde yönetilmeye başlanmıştır. Atılan bu adımla birlikte Cihanbeyli belediyesi artık yoğun olarak Cihanbeyli merkezine hizmet edecek şekilde bir planlamaya gitmiştir. Böylelikle Cihanbeyli'de ilçe merkezi daralmış ve yapılacak olan hizmetlerin bölge halkına rahat bir şekilde ulaştırılması sağlanmıştır. Belediye başkanı tarafından ilçe hakkında yapılacaklar planlanarak öncelik alt yapı çalışmalarına verilmiştir. Öncesinde, ilçede yer almayan alt yapıya oldukça büyük bir önem verilerek bir imar planı hazırlanmış ve akabinde su, kanalizasyon gibi alt yapı hizmetleri bölgeye ulaştırılmıştır. Ardından bugün ilçeye uzaklığı 20 km olan İnsuyu beldesinden su getirilmiştir. Bölgeye getirilen bu suyun 50 yıl gibi bir zaman zarfında ilçeye yeteceği söylenmişse de ilçenin suyu hâlâ bu bölgeden gelmeye devam etmektedir. Bu temel iki alt yapı eksikliğinin tamamlanmasının ardından ilçenin bir diğer ihtiyacı olan yolların açılması çalışmalarına ağırlık verilmiş ve böylelikle ilçenin daha güzel bir görünüme kavuşmasının yanında şehirciliğin gelişmesine yönelik adımların devam etmesi sağlanmıştır. Günümüzde oldukça popüler olan İnönü Bulvarı, Mehmet Akif Ersoy Caddesi, Atatürk Caddesi gibi caddeler yapılmıştır. Bu caddeler Cihanbeyli'nin doğusuyla batısını birbirine bağlayan çok önemli caddelerdir². Zamanla bu yollara eklenen bağlantı yolları ile birlikte ilçe artık yavaş yavaş şehir görünümünü almaya başlamıştır. Süregelen zaman içerisinde ilçeye gelen çeşitli göçlerle artan nüfus barınma ihtiyacının da artmasına neden olmuş ve yapılan evler, iş yerleri, sağlık kuruluşları, eğitim kurumları gibi sosyal kurumların inşa edilmesiyle birlikte ilçe gelişmeye ve şehircilik faaliyetleri alanında ilerlemeye başlamıştır. Cihanbeyli gelişmişliği hakkında en

² Bu bilgilere Eski Belediye Başkanlarından Mustafa Kerimoğlu'nun oğlu Mimar Oğuzhan Kerimoğlu ile 05.12.2022 tarihinde yapılan röportaj sonucunda ulaşılmıştır.

son 2018 yılında Mevlana Kalkınma Ajansı SEGE (Sosyo- Ekonomik- Gelişmişlik Sıralaması Araştırmaları) verilerine göre 37 ilçe arasında Cihanbeyli 1113,9 oranında gelişmişlik endeksi ile 11. sırada yer almıştır (Gürbüz, 2019: 10).

Küresel iklim değişikliği tüm dünyanın karşı karşıya kaldığı en önemli çevre ve kalkınma problemi olarak ülkemiz için de öncelikli önlem alınması gereken konular arasında yer almaktadır.

Dünya iklimi tarihi süreç içerisinde birçok kez değişim göstermiştir. Bu değişim, doğal nedenlerden kaynaklanabildiği gibi coğrafi keşifler ve sanayileşme gibi birçok insan faaliyetlerinden dolayı da ortaya çıkmıştır. Endüstri devrimi ile beraber fosil yakıt kullanımı ile atmosferin kimyasal oluşumu etkilenmiştir. Bunun sonucunda 18. yüzyılın ortalarından itibaren atmosferde karbondioksit, metan ve azot oksit artmıştır. Dolayısıyla atmosferde bulunan sera gazları artmış ve küresel ısınma ortaya çıkmıştır. 20. yüzyıl boyunca yeryüzündeki ortalama küresel yüzey sıcaklığı 0,6 °C artmışken, gelecek yüzyılda da ortalama yüzey sıcaklığının 1,4-5,8 °C artacağı beklenmektedir. Bu ısınma, iklim değişikliğinin yanı sıra taşkın ve kuraklık gibi aşırı olaylarda artışlara sebep olabileceği gibi hidrolojik afetleri hızlandırıcı bir etken olarak da görülmektedir (Köksoy, 2012: 6).

Zaman içerisinde etkileri gittikçe artan küresel ısınma, ülkemizi de kuraklık düzeyinde etkileyecektir. Özellikle Orta Anadolu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinin ciddi anlamda bir yağış eksikliği yaşaması beklenmektedir. Zaten adı geçen bu bölgelerin geçmiş yıllardaki yıllık yağış ortalamalarına bakıldığında epey düşük değerlere sahip olduğu da anlaşılmaktadır. Bahsi geçen bu bölgelerin kurak bir iklim yapısına sahip olmasının yanında bir de yaşanan küresel ısınma tehdidi, hem tarımsal üretim hem de diğer yaşamsal faaliyetler için gerekli olan su ihtiyacının karşılanması aşamasında önemli bir sorun oluşturmaktadır. Kuraklık, taşkın sel gibi ani meydana gelen doğal afetler arasında olmamasına rağmen, dünyadaki doğa olayları içerisinde en fazla maliyeti olan doğal afetlerdendir ve küresel anlamda oldukça önemli maddi zararlara sebep vermektedir (Köksoy, 2012: 6).

Türkiye yerkürenin kuraklıkla karşı karşıya bulunan önemli bir bölgesindedir. Bölgemizde kuraklık olmasa dahi, nüfus artışı, yeni alanların sulamaya açılması ve su kaynaklarının kirlenmesi neticesinde şimdiden kişi başına düşen su miktarında ciddi bir yetersizlik söz konusudur (Şen, 2003: 265-285).

Kuraklık yalnızca fiziksel ya da bir doğa olayı olarak görülmemelidir. Kuraklığın, insanın ve onun yaşamsal faaliyetlerini devam ettirebilme adına hayatında çok önemli bir yere sahip olan su kaynakları üzerinde çeşitli etkileri vardır. Uzun süreli yaşanan kuru havalarda havadaki nem miktarını azaltarak toprak ve su kaynakları üzerinde olumsuz etkilere sebep olmaktadır. Bunun neticesinde ciddi çevresel, ekonomik ve sosyal problemlerin ortaya çıktığı görülmektedir. Esas olarak küresel iklim değişikliği nedeniyle gittikçe artan sıcaklık ve buna bağlı olarak gelişen yağış yetersizliği neticesinde ortaya çıkan kuraklık, üretimde azalmaya, yetersiz beslenmeye ve kıtlığa dolayısıyla açlık kaynaklı ölümlere neden olabileceğinden tüm dünyayı olumsuz yönde etkileyen küresel bir tehdit olarak görülmektedir (Köksoy, 2012: 8-9).

Küresel iklim değişikliği ve kuraklıktan en çok etkilenen İç Anadolu'da Konya ovası ve Türkiye'nin ikinci büyük gölüne yani Tuz Gölüne sahip olan, Konya'nın Cihanbeyli ilçesidir. Cihanbeyli, 38°39' kuzey enlemi ile 32°55' doğu boylamı arasında yer almaktadır. İl merkezine uzaklığı 98 km'dir. İlçenin deniz seviyesinden ortalama yüksekliği 950-1.000 metredir. Kuzeyinde Kulu ve Ankara'nın Haymana ilçesi; güneyinde Altınekin, batısında Sarayönü ve Yunak ilçeleri, doğusunda Tuz Gölü ve Aksaray ili bulunmaktadır. İlçenin yüzölçümü 3.634,76 km²'dir (MKA, 2019: 5).

"Tuz Gölü'nü besleyen sular doğuda Şereflikoçhisar'dan geçen Peçenek Suyu, güneyde Eski'den göle giren Bağlıca ve Kırkdalik suları ile Eşmekaya kaynakları, güneybatıda Tersakan ayağı ile batıda Cihanbeyli'den gelen İnsuyu'dur" (Ekercin, 2007: 26-27).

"Tuz Gölü ile yakın ilişkide olan göller, Tuz Gölü ile bir ekosistem bütünlüğü göstermektedir. Yakın çevresindeki göller Tersakan Gölü, Bolluk Gölü ve Kulu Gölleridir. Tuz Gölü kışın kapladığı geniş su alanı ile su kuşları için önemli bir kışlama alanıdır" (Ekercin, 2007: 27). "Tuz Gölü ve çevresi Uluslararası kıstaslara göre A sınıfına giren bir sulak alandır. Tuz Gölü Havzası 14.09.2000 tarih ve 2000/1381 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan Bakanlar Kurulu Kararıyla Özel Çevre Koruma Bölgesi olarak tespit ve ilan edilmiştir" (Ekercin, 2007: 27).

"Bölge dağlarla çevrili olmasından dolayı, denizlerin nemli ılıman havası bölgeye sokulamaz. Bu nedenle de topografyaya bağlı olarak Tuz Gölü ve Havzasında, yazları sıcak ve kurak, kışları soğuk ve kar yağışlı olan karasal iklim hâkimdir. Bölgede, doğruya doğru gidildikçe yüksekliğin artmasına bağlı karasallık derecesi artar ve kış sıcaklıkları çok düşük değerlere ulaşır" (Akin, 2019: 46). İç Anadolu bölgesi, ülkemizin en az yağış alan bölgesidir. Ortalama yağış bölgede 400 mm civarındadır ve bölge en fazla yağışı ilkbahar aylarında sağanak şeklinde almaktadır. En kurak mevsim ise yaz mevsimidir. Bölgenin ve ülkemizin en az yağış alan bölgesi ise Tuz Gölü çevresidir (320 mm). Bölgede, sıcaklığın arttığı dönem, yağışların da azaldığı döneme rastladığı için, buharlaşma ile birlikte bitkilerin kaybettiği su miktarı karşılanamamakta ve Haziran ile Kasım arası dönemlerde ciddi bir kuraklık görülmektedir (Akin, 2019: 47).

Cihanbeyli bölgesi ve Tuz Gölü havzasının iklim değişikliğinden ne derece etkilendiğini ortaya koymak amaçlı çeşitli akademik çalışmalar ortaya konmuştur. Bu çalışmalar incelendiğinde Tuz Gölü ve çevresinde kuraklık derecesinin tespit edilmesi yönünde önemli parametrelerden biri olan yağışın eğilim ve değişim tespiti için yıllık ortalama yağış tutarlarının 1975-2016 yılları arasındaki eğilimleri incelenmiştir. Tuz Gölü çevresindeki

istasyonlarda yıllık ortalama yağış eğrileri incelendiğinde 40 yıllık süreç içerisinde yağışlarda %16 ile %24 oranında bir azalma görülmüştür (Akin, 2019: 51). Ortalama yağış miktarında 1,2-11,6 mm arasında bir azalma meydana gelmiştir. Bu veriler neticesinde zaten kurak bir yapıya sahip olan Tuz Gölü ve çevresinde kuraklık etkisinin daha da şiddetlendiği görülmektedir.

Su varlığını etkileyen diğer önemli parametrelerden biri de sıcaklıktır. Tuz Gölü çevresindeki istasyonlarda yıllık ortalama sıcaklık eğrileri incelendiğinde Tuz Gölü ve çevresinde 40 yıllık zaman diliminde ortalama sıcaklığın 1,7 ile 3,6°C arttığı görülmektedir. Bu artış ise yerüstü su kaynaklarının hızlı bir şekilde buharlaşmasına neden olmaktadır (Akin, 2019: 51).

Bütün bu etkilerin yanında binlerce yıldır Konya ovasında susuz hasat edilen tahıllar yerine Cihanbeyli ve çevresinde sulama gerektiren ekim bitkilerine (mısır, şeker pancarı vb.) geçilmesi su kullanımını artırmış ve Tuz Gölü'nün kurumasını daha çok tetiklemiştir. İklim değişikliği neticesinde etkisi gittikçe artan kuraklıktan etkilenmeyi en aza indirmek isteyen insanlar azalan yüzey sularından yeraltı su kaynaklarına yönelmişlerdir. "Yeraltı suyu kullanımı amaçlı olarak havzada, 6.000 adet kuyu ruhsatlı olarak açılmıştır. Bununla birlikte havzada yaklaşık 10.000 adet kuyunun da ruhsatsız olarak kaçak açıldığı tespit edilmiştir" (Ekercin, 2007: 72).

Küresel ısınmadan ve buna bağlı gelişim gösteren iklim değişikliğinden oldukça fazla etkilendiği görülen Cihanbeyli ilçesi ve Tuz Gölü havzasında gerekli önlemlerin alınması iklim değişikliğinin bölgeye vereceği zararı en aza indirme açısından büyük önem arz etmektedir. Bu doğrultuda da hazırlanmış çeşitli stratejik planlar bulunmaktadır. Bu planlara göre çiftçilerimizi bilinçli gübre kullanımı için teşvik ederek sulama, toprak işleme, tarımsal ilaçlama gibi konularda modern teknikler kullanılması sağlanarak emisyonların en aza indirilmesi amaçlanmaktadır. Beraberinde kuraklığa dayanıklı bitki türleri ile sertifikalı tohum üretimi desteklenmekte ve halkımız arasında bunun yaygınlaşmasına özen gösterilmektedir (ÇŞB, 2010-2023: 28).

Üreticilerimizin sulama suyu kullanımlarında tasarruf etmelerini sağlayacak, maliyeti azaltacak modern basınçlı sulama sistemlerinin (damlama/yağmurlama) kullanılmasına yönelik teşvikler yapılmaktadır.

Millî ağaçlandırma seferberliği kapsamında ülke genelinde ağaçlandırma çalışmaları yapılmaktadır. Özellikle Konya Cihanbeyli gibi kurak/yarı kurak alanlarda susuzluğa dayanıklı ağaç türleri tespiti yapılarak bunlarla ağaçlandırma yapılmaktadır.

Tarım sigortaları kanunu kapsamında kuraklık, dolu, sel, don, fırtına, heyelan gibi iklim olaylarının da içerisinde yer aldığı doğal afetlerden üreticiyi koruyabilme adına üretici zararlarının tazmini gerçekleştirilmektedir. Yine aynı şekilde tabii afetlerden zarar gören üreticiye sağlanacak yardımlar ile üreticinin küresel ısınma ve iklim değişikliğinden en az derecede etkilenmesi arzu edilmektedir (Talu&Kocaman: 23).

4. Tartışma ve Sonuç

Konya ilinin en geniş toprağa sahip olan Cihanbeyli ilçesi tarih boyunca birçok farklı kültür ve medeniyete ev sahipliği yapmış ve süre gelen zaman içerisinde de yine aynı şekilde farklılıkların kültürel çeşitlilik olarak kabul edildiği; insanların huzur ve birliktelik içerisinde yaşadıkları kozmopolit bir ilçe olma özelliğini devam ettirmektedir. Konya'nın tahıl ambarı olarak bilinen Cihanbeyli; doğusunda Şereflikoçhisar ve Aksaray sınırlarının kesiştiği Tuz Gölü, batısında Yunak ve Sarayönü, kuzeyinde Kulu ve Haymana, güneyinde ise Altınekin ilçesiyle çevrilidir (CK, 2002: 14).

Yüzölçümü yaklaşık 4.109 km²'dir ve ilçe yüzölçümü bakımından Türkiye' nin en büyük ilçesidir (<http://www.konya.gov.tr/cihanbeyli> Erişim: 30 Haziran 2023).

Tarihi süreç incelendiğinde ilçe oluşu Cumhuriyet tarihi ile özdeş olan Cihanbeyli'de çevre şehircilik faaliyetleri 1980 yılında dönemin belediye başkanı Mustafa Kerimoğlu zamanında hız kazanmış ve günümüzdeki şeklini almıştır.

Tüm dünyayı ciddi boyutlarda etkileyen küresel iklim değişikliği tahıl ambarı olarak bilinen Cihanbeyli'yi de etkisi altına almıştır. Yıllık ortalama sıcaklık verileri ve yıllık ortalama yağış verileri incelendiğinde belirli periyotlarda sıcaklık oranının artarken yağış miktarının düşmeye başladığı gözlenmektedir. Bu veriler göz önüne alındığında zaten kurak bir yapıya sahip olan Cihanbeyli Tuz Gölü ve çevresinde kuraklık etkisinin daha da şiddetlendiği görülmektedir. Artan sıcaklık mevcut su kaynaklarını da doğrudan etkileyerek sıcaklığın artmasına bağlı olarak yer üstü su kaynaklarının hızlı bir şekilde buharlaşmasına yol açmaktadır.

Hızlı bir şekilde gelişen küresel ısınmadan ve buna bağlı gelişen iklim değişikliğinden oldukça fazla etkilendiği görülen Cihanbeyli ilçesi ve Tuz Gölü havzasında gerekli önlemlerin alınması iklim değişikliğinin bölgeye vereceği zararı en aza indirme noktasında büyük önem arz etmektedir. Bu oluşacak zararın önüne geçebilme adına stratejik planlar yapılmaktadır. Bu planlarla çiftçilerimizi bilinçli gübre kullanımı için teşvik ederek sulama, toprak işleme, tarımsal ilaçlama gibi konularda modern teknikler kullanılması sağlanarak emisyonların en aza indirilmesi amaçlanmaktadır. Beraberinde kuraklığa dayanıklı bitki türleri ile sertifikalı tohum üretimi desteklenmekte ve halkımız arasında bunun yaygınlaşmasına özen gösterilmektedir (ÇŞB, 2010-2023: 28).

Sonuç olarak ülkemiz genelinde küresel sıcaklık ve iklim değişikliği zararlarının en aza indirilmesi amacıyla yönelik birçok çalışma yapılmakta ve daha ilerisi için planlamalara devam edilmektedir. Özellikle küresel sıcaklığın

beraberinde getirdiği kuraklıkta oldukça etkili olan tarımda bilinçsiz su kullanımının önüne geçilmeli ruhsatsız yeraltı su kaynakları durdurulmalıdır.

5. Etik Standartlara Uygunluk

a) Author Contributions

b) Conflict of Interests

Yazarlar arasında çıkar çatışması bulunmamaktadır.

c) Statement on the Welfare of Animals

Bu çalışmada hayvan denekleri bulunmamaktadır.

d) Statement of Human Rights

Bu çalışmada insan denekleri bulunmamaktadır.

e) Funding

Herhangi bir finansal destek bulunmamaktadır.

6. Kaynakça

- AKIN, Burcu (2019). Tuz Gölü Havzasının Kuraklık Analizi, *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, S 2/1, s. 44-56
- BAHAR, Hasan (2011). Cihanbeyli, *Konya Ansiklopedisi C.2*, s. 254-256, Konya: Konya Büyükşehir Yayınları.
- Cihanbeyli Kaymakamlığı (2002), *Flamingo ve Tuz Diyarı Cihanbeyli*, Konya.
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, *Türkiye İklim Değişikliği Stratejisi 2010-2023*.
- EKERÇİN, Semih (2007). *Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Entegrasyonu ile Tuz Gölü ve Yakın Çevresinin Zamana Bağlı Değişim Analizi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeodezi ve Fotogrametri Ana Bilim Dalı Doktora Tezi (Dan: Prof. Dr. Cankut Örmeci).
- GÜLGÖNÜL, Ebubekir (2017). *1831 Nüfus Sayımına Göre Esbkeşan Kazasının Nüfus ve Demografik Yapısı*, Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Atatürk İlkeleri ve İnkılap Tarihi Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi (Dan.: Yrd. Doç. Dr. Mehmet Yılmaz).
- GÜRBÜZ, Güvenç (2019). TR 52 Bölgesi İlçelerinin Seçilen Değişkenlere Göre Endeksleri, Mevlana Kalkınma Ajansı.
- KARADENİZ, H. Basri (1997). Atçeken Oymaklarının Yurtlarında Yer Adları, *Türk Dünyası Araştırmaları Dergisi*, S.108, s. 116-117, İstanbul.
- KIRAN, İzzanruba (2020). *Konya-Cihanbeyli-Böğürdelik Tatarları'nın Halk Ezgileri*, Hacettepe Üniversitesi Güzel Sanatlar Enstitüsü Geleneksel Türk Müzikleri Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi (Dan.: Prof. Dr. Ayten Kaplan).
- KÖKSOY, Nurten Elvan (2012). TR52 Bölgesi (Konya Karaman) Kuraklık İndeksi Raporu, Mevlana Kalkınma Ajansı.
- [MKA] Mevlana Kalkınma Ajansı (2019) *Cihanbeyli İlçe Raporu*, Konya.
- ŞEN, Zekai (2003). *Su Bilimi ve Yöntemleri*, İstanbul: Su Vakfı Yayınları.
- ŞİMŞEK, Ahmet (2011). 'Cihanbeyli' *Konya Ansiklopedisi*, C.2, s. 254, Konya: Konya Büyükşehir Yayınları.
- ŞİRİN, İbrahim (2018). Bolvadin'de Mukim Karabağ Aşiretinin İskânı, İktisadî ve Sosyal Tarihi, *Alevilik –Bektaşilik Araştırmaları Dergisi*, S. 17, s. 3-31, Hausen /Almanya: Alevi-Bektaşî Kültür Enstitüsü Yayınları.
- TALU, Nuran - KOCAMAN, Habip. 'Türkiye'de İklim Değişikliği ile Mücadelede Politikalar, Yasal ve Kurumsal Yapı', *İklim Değişikliği Alanında Ortak Çabaların Desteklenmesi Projesi*. https://www.iklimin.org/egitimmateryalleri/TR%20Pol_NT.pdf (Erişim Tarihi: 30 Haziran 2023)
- TURAN, Osman (1993). *Selçuklular Zamanında Türkiye*, İstanbul: Ötüken Yayınları.

İnternet Kaynakları:

https://www.nufusu.com/ilce/cihanbeyli_konya-nufusu-,01.01.2024

<http://www.konya.gov.tr/cihanbeyli>, 01.01.2024

RUSLE (3D) Modeli Kullanılarak Toprak Erozyonu Tahmini; Atikhisar Barajı Havzası Örneği (Çanakkale)

Melike Durak^{1*}  İsa Cürebal² 

Özet: Türkiye'nin kuzeybatısında Çanakkale ili sınırları içinde bulunan Atikhisar barajı havzası, 336.3 km² yüzölçümüne sahiptir. Bu çalışma, Atikhisar barajı havzasının toprak erozyonu duyarlılığı ile dağılışının belirlenmesi, aynı zamanda yıllık ortalama toprak kaybı miktarının tahmini amacıyla yapılmıştır. Bu amaca ulaşmak için Coğrafi Bilgi Sistemleri tabanlı Düzenlenmiş Evrensel Toprak Kaybı Denklemi (Revised Universal Soil Loss Equation - RUSLE) kullanılmıştır. Denklemin havzaya uygulanabilmesi için havzanın yağış, toprak, arazi kullanımı, eğim uzunluk ve eğim diklik ve erozyon önleyici faktörler gibi erozyonu etkileyen parametrelere ait haritalar üretilmiştir. Sonrasında bu haritalar çakıştırılarak hesaplamalar yapılmış ve erozyon duyarlılık sınıfları oluşturulmuştur. Böylece erozyon duyarlılık sınıflarının mekânsal dağılımı ile yıllık tahmini toprak kaybı miktarı belirlenmiştir. Çalışma sonucunda Atikhisar Barajı havzasında çok hafif, hafif, orta şiddetli, şiddetli ve çok şiddetli olarak ayırt edilen beş farklı grupta erozyon duyarlılık sınıfı tanımlanmıştır. Buna göre havzanın %31.1'inde çok hafif, %34.2'sinde hafif, %5.0'inde orta şiddetli, %7.8'sinde şiddetli ve son olarak %21.9'unda ise çok şiddetli erozyon duyarlılığı tespit edilmiştir. Ortalama bir hesap ile 11.7 ton / ha / yıl erozyon duyarlılığı hesaplanmıştır. Atikhisar barajı havzasında hesaplanan erozyon duyarlılığı, Türkiye ortalaması olarak hesaplanan 8,24 ton/ha/yıl değerinden yüksek bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Toprak Erozyonu, Siltasyon, Atikhisar Barajı, RUSLE, Coğrafi Bilgi Sistemleri

Soil Erosion Estimation Using the RUSLE (3D) Model: The Case of the Atikhisar Dam Basin (Çanakkale)

Abstract: The Atikhisar dam basin, located within the borders of Çanakkale province in northwestern Turkey, has a surface area of 336.3 km². This study was carried to determine the soil erosion susceptibility and distribution of the Atikhisar Dam Basin, as well as to estimate the annual average soil loss. To achieve this objective was used the Geographic Information System-based Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). To apply the equation to the basin, were created to data layers rainfall, soil, land use, slope length, slope steepness, and erosion control factors. Subsequently, the layers were overlayed, calculations were made, and erosion susceptibility classes were created. Thus, the spatial distribution of erosion susceptibility classes and the estimated annual soil loss amount were determined. As a result of the study, five erosion susceptibility classes, distinguished as very low, low, moderate, severe, and very severe, were defined in the Atikhisar Dam Basin. Accordingly, very low erosion susceptibility was calculated in 31.1% of the basin, low in 34.2%, moderate in 5.0%, severe in 7.8%, and very severe in 21.9%. An average calculation resulted in an erosion susceptibility of 11.7 tonnes/ha/year. The erosion susceptibility calculated in the Atikhisar dam basin was found to be higher than the Türkiye average value of 8.24 tonnes/ha/year.

Keywords: Soil Erosion, Siltation, Atikhisar Dam, RUSLE, Geographical Information Systems

Makale Bilgisi (Araştırma)

1 Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Coğrafya Anabilim Dalı
Balıkesir / Türkiye

2 Balıkesir Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümü

*Sorumlu yazar:

durakmelike1919@gmail.com

Alıntı: Durak, M., Cürebal, İ. (2025). RUSLE (3D) Modeli Kullanılarak Toprak Erozyonu Tahmini; Atikhisar Barajı Havzası Örneği (Çanakkale), Memba Su Bilimleri Dergisi, 11 (1). 138-151.

<https://doi.org/10.58626/memba.1655532>

Başvuru Tarihi: 11 Mart 2025

Kabul Tarihi: 20 Mart 2025

Yayın Tarihi: 28 Mart 2025

1. Giriş

Barajlar, başta temel su ihtiyacı olmak üzere elektrik üretimi, taşkın kontrolü vb., gibi çeşitli amaçlarla yapılmaktadır. Baraj havzaları, doğal veya antropojenik kökenli değişikliklere karşı hassas bir ekosisteme sahiptir (Soukhaphon vd., 2021). Yapılış amacına göre değişiklik göstermekle birlikte sağladığı faydalara bağlı olarak dünya ekonomisi için hayati bir öneme sahiptir (Snyder vd., 2004). Barajların ekonomik ömürleri rezervuarlarının siltasyonla dolması için gerekli sürenin uzunluğu ile ilgilidir (Palmieri vd., 2001). Erozyon olayının doğal bir sonucu olan siltasyon, dünyada ve Türkiye’de yaygın olarak görülen (Atalay, 1983) ve barajların ekonomik ömrünü kısaltan önemli bir jeomorfolojik problemdir (Efe vd., 2008a; Efe vd., 2008b; Cürebal vd., 2012). Rezervuar ömrünün uzunluğu üzerinde belirleyici role sahip olan erozyon ve siltasyon gibi parametreler tahmin edilmeye çalışılmaktadır (Dutta, 2016). Toprak erozyonu, siltasyon ve sediment verimini tahmin etmeye dayalı çeşitli modeller geliştirilmiştir. Günümüzde genel olarak Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı geliştirilen bu modeller, fiziksel, ampirik, kavramsal ve hibrit modeller olarak dört gruba ayrılır (Dutta, 2016). Ampirik modellerin havza ölçeğinde kolaylıkla uygulanabilirliğine bağlı olarak baraj havzalarında siltasyon birikiminin tahminlerinde bu modellerden yararlanılmaktadır (Özşahin, 2016). USLE (Universal Soil Loss Equation) ailesine ait ampirik modeller gerek dünyada (Borrelli vd., 2020) gerekse Türkiye’de (Özşahin vd., 2019) yaygın olarak uygulanan toprak erozyonu tahmin modellerindendir (Özşahin, 2014; Özşahin, 2016; Özşahin vd., 2018; Özşahin, 2024). Bu model ailesine ait RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) az bir veriyle pratik bir şekilde hesaplama yapabilmesinden dolayı daha fazla tercih edilmektedir. Özellikle son yıllarda, yerbilimciler arasında USLE ailesine ait erozyon modelleri kullanılarak baraj havzalarında siltasyon, sediment verimi ve toprak erozyonu tahminine yönelik çalışmalar artmıştır (Snyder vd., 2004; Dutta, 2016). Sadece Web of Science veritabanında RUSLE modelini konu alan 2437 çalışma mevcut olup bu çalışmaların 1235 tanesi (%50.7) son 5 yıla aittir. Baraj havzalarında RUSLE modelini konu alan çalışmaların sayısı ise 129 olup bu çalışmaların 77’si (%59.7) son 5 yıl içinde yapılmıştır. Örneğin; Thiet vd., 2012, Lazzari vd., 2015, Luo vd., 2019, Bhatti vd., 2021, Kifelew vd., 2022 ve Mahmood vd., 2023 yaptıkları çalışmalarda baraj havzalarında RUSLE modeli kullanarak toprak erozyonu tahminleri yapmışlardır. Ülkemizde baraj havzalarında RUSLE modelini kullanarak toprak erozyonu tahmini yapılan çalışmalara, Fıçıcı 2021, Fıçıcı ve Soykan, 2022, Atalay Dutucu ve Mutlu 2022, Özşahin, 2023; Özşahin, 2024, örnek olarak verilebilir. Bu çalışmalar sonucunda rezervuarların siltasyon yönetimi, sürdürülebilirliği ve tasarım ömrünün uzatılması için önemli veriler elde edilebilir (Miranda vd., 2021).

İnceleme alanı ile ilgili literatür incelendiğinde erozyonu konu alan bir çalışma tespit edilmemiştir. Daha çok göl alanındaki değişimler (Kale ve Acarlı, 2019a; Kale ve Acarlı, 2019b; Ilgar, 2010), meteorolojik ve hidrolojik kuraklığa bağlı değişimler (Özelkan ve Karaman, 2018; Özelkan, 2019), göl batimetrisinin belirlenmesi (Öztürk, 2022), ekolojik risk (Fural vd., 2021), sürdürülebilirlik (Toptepe, 2011), çevresel ve ekonomik etkiler (Koca, 2005) başlıkları incelemeye konu olmuştur.

Bu çalışma, Türkiye’nin kuzeybatısında Çanakkale ili sınırlarında yer alan Atikhisar barajı havzasının toprak erozyonunu kontrol eden parametrelerinin değerlendirilmesi, toprak erozyon miktarının tahminini ve haritalanmasını amaçlamaktadır. Bu amaca ulaşılabilmesi için RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) yöntemi tercih edilmiştir.

1.1. İnceleme Alanının Konumu ve Genel Özellikleri

Atikhisar barajı havzası Türkiye’nin kuzeybatısında, Marmara bölgesinin batısında, Çanakkale ili sınırları içinde kalmaktadır. Baraj Çanakkale boğazına dökülen Sarıçay üzerine kurulmuş olup, havza 336.3 km² yüzölçümüne sahiptir. Baraja ait özellikler Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Atikhisar barajının özellikleri

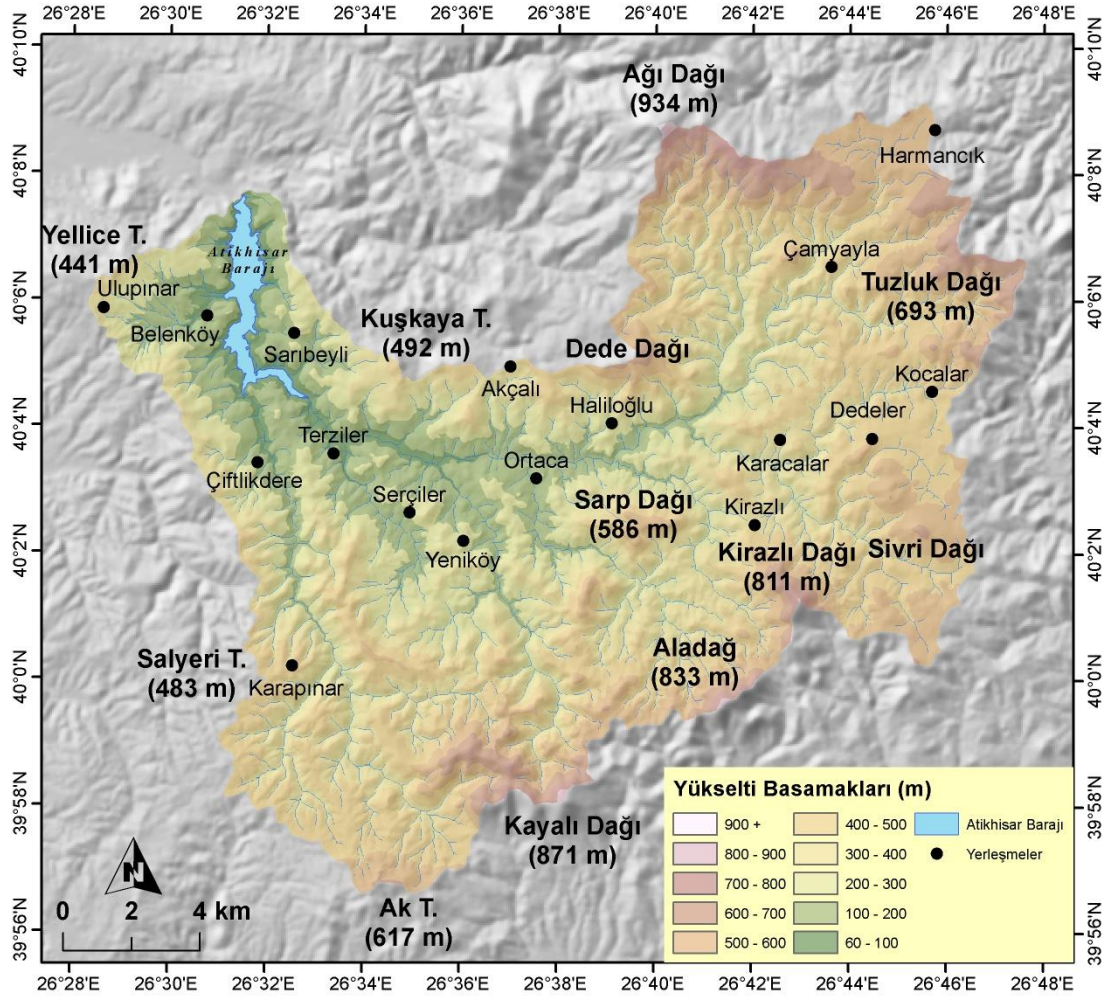
Yağış Havzası	Minimum Su Seviyesi	Minimum Su Seviyesindeki Hacim	Aktif Hacim	Rüsubat Durumu
337	38 (m)	3.90 hm ³	55.70 hm ³	250 m ³ /km ² /yıl

*D.S.İ. Atikhisar Barajı Planlama Raporu (1967).

Havzada çoğunlukla Neojen’e ait volkanik kayalar yaygındır. Andezit, dasit, tuf, aglomera yaygın kayalar türleridir. Havzanın güneyinde ise Permian – Triyas’a ait metamorfik kayalar gözlenmektedir.

İnceleme alanında Akdeniz iklimi ile Karadeniz iklimi arasında kalan geçiş iklimi hakimdir. İnceleme alanı içinde meteoroloji istasyonu yoktur. İnceleme alanına en yakın meteoroloji istasyonu olan Çanakkale rasatlarına göre yıllık ortalama sıcaklık 15.2 °C, yıllık toplam yağış ise 623.2 mm’dir. Sıcaklık ortalaması yılın hiçbir döneminde 0 °C’nin altına düşmemektedir. İnceleme alanında en sıcak ay ortalaması 25.2 °C ile temmuz, en soğuk ay ortalaması 6.3 °C ile ocak ayıdır. İnceleme alanında en fazla ortalama yağış 106 mm ile aralık ayında, en az ortalama yağış 10.7 mm ile ağustos ayında meydana gelir.

Çalışma alanını sularını Çanakkale boğazına akıtan Sarıçay ve kolları oluşturmaktadır. Havzada dandritik drenaj yaygındır. Drenaj ağı, kuzey, doğu ve güneyden kollar ile Atikhisar barajını beslemektedir.



Şekil 1. Atikhisar Barajı Havzasının Yükselti Basamakları Haritası

Atikhisar barajı havzasının belirgin bir geometrisi yoktur. Havzada yükselti, baraj su seviyesi olan 60 m ile 934 m (Ağı Dağı) arasında değişmektedir (Şekil 1). Havzanın ortalama yükseltisi 365 metredir. Sahada eğim değerleri genelde yüksektir. Ortalama eğim 15° olarak hesaplanmıştır. Havzayı oluşturan Sarıçay ve kolları, genel anlamda batı – kuzeybatı yönünde akış göstermektedir. Kuzeybatı bakılı araziler %13.5 ile en çok paya sahiptir. Sonrasında ise %13.1 ile kuzey, %12.6 ile batı bakışı gelmektedir. Diğer bakıların payları ise hemen hemen birbirine eşit olup, %11.8 ile %12.0 arasında değişmektedir. İnceleme alanında hâkim ana yerşekli ise platolar ve yamaçlardır. Akarsular sahayı dar ve derin şekilde parçalamıştır. Su bölümü çizgisi üzerinde ise yükseltisi 800 metreyi aşan tepeler ve dağlar bulunmaktadır.

Havzanın genelinde kireçsiz kahverengi orman toprakları hakimdir. Kahverengi orman toprakları ise sahanın batısında dar bir alanda görülmektedir.

İnceleme alanının genelinde iğne yapraklı (%28.4), karışık (%24.5) ve geniş yapraklı (%5.2) ormanlar görülmektedir. Çalı formundaki bitkiler ise havzanın %16.9'unu kaplamaktadır.

Atikhisar barajı havzasında Kirazlı nahiyesi ve çoğunlukla köyler şeklinde kırsal yerleşmeler bulunmaktadır. Sahada toplam 17 adet kırsal yerleşme mevcuttur. 15 kırsal yerleşme Çanakkale ilçesinde, Lapseki ve Bayramiç ilçelerinde ise birer kırsal yerleşme bulunmaktadır. Havzada 2024 yılı verilerine göre 1500 kişi yaşamaktadır. Nüfusun çoğunluğu tarım ve ormancılık faaliyetleri ile ilgilenmektedir. Yer yer madencilik faaliyetleri de yapılmaktadır.

2. Materyal ve Yöntem

İnceleme alanında potansiyel erozyon duyarlılık alanlarının belirlenmesi ve bu alanların sınıflandırılması için, ABD Tarım Bakanlığı Toprak Bölümü tarafından geliştirilmiş "Düzenlenmiş Evrensel Toprak Kaybı Denklemi" (Revised Universal Soil Loss Equation: RUSLE) tercih edilmiştir. RUSLE yöntemi yağış faktörü (R), toprak faktörü (K), eğim diklik ve eğim uzunluğu faktörü (LS), arazi kullanımı faktörü (C) ve erozyon önleyici

faktörler (P) olmak üzere beş parametreden oluşmaktadır (Wischmeier ve Smith, 1978; Renard vd., 1991; Lane vd., 1992; Renard vd., 1997; Nearing vd., 2017; Atalay ve Cürebal, 2018).

RUSLE formülü aşağıdaki parametrelerden oluşur:

$$A=R*K*LS*C*P$$

A=Yıllık Ortalama Toprak Kaybı (ton/ha/yıl)

R=Yağış Erozyon Faktörü

K= Toprak Erozyon Faktörü

LS= Eğim Uzunluk ve Eğim Diklik Faktörü

C=Arazi Kullanımı Faktörü

P=Erozyon Önleyici Faktörler

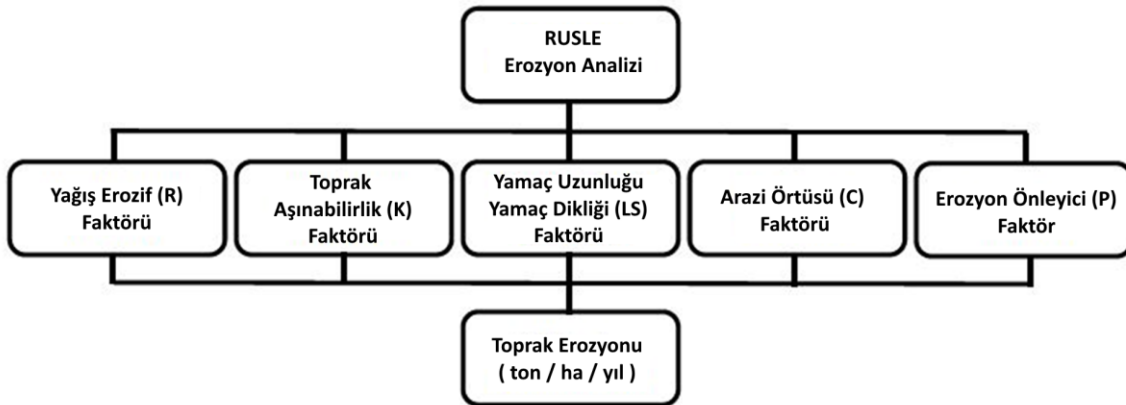
RUSLE yönteminin uygulanma aşamasında havzanın 1/25.000 ölçekli topografya haritaları sayısallaştırılarak analiz için gerekli yükselti (eşyüksekti eğrileri), akarsu vb., gibi altlık veriler üretilmiştir. Arazi kullanımı özellikleri için CORINE ve uydu görüntüleri kullanılmıştır. Toprak özellikleri TOPRAKSU Genel Müdürlüğü tarafından 1978 yılında hazırlanan envantere göre düzenlenmiştir. Tüm veriler Şekil 2' deki şemaya uygun olarak işlenmiştir.

Yağış erozif faktörü haritası Çanakkale Meteoroloji İstasyonu (6 m) verileri (1929-2024) kullanılarak hazırlanmıştır. Bu veriler Microsoft Office Excel programı kullanılarak işlenmiştir. İnceleme alanında 0 - 934 m'ler arasında değişen yükselti farkı nedeniyle düşen yağış miktarı ve dağılımını hesaplamak amacıyla Schreiber tarafından geliştirilen yağışın her 100 m'de 54 mm artacağı varsayımına dayanan formül kullanılmıştır (Schreiber, 1904).

$$\text{Formül: } Ph=Po + 4.5xh$$

Ph= Ortalama yağış miktarı (mm)

Po= Verileri bilinen noktanın ortalama aylık yağış miktarı (mm)



Şekil 2. RUSLE Yöntemi İşlem Akış Şeması

RUSLE eşitliğinde yağışların toplam kinetik enerjileri ile 30 dakikalık maksimum yoğunluklarının çarpımı sonucu elde edilen değer (E.I.= Erozyon İndeksi) toprak erozyonunun hesaplanmasında önemli bir rol oynamaktadır (Wischmeier ve Smith, 1978). Bu çalışmada E. I değerini bulmak amacıyla geliştirilmiş olan Modified Fournier Index (MFI) (Arnoldous, 1980) formülü kullanılmıştır.

MFI formülü:

$$MFI=\sum_{i=1}^{12} \left(\frac{P_i}{P} \right)^2$$

Pi: aylık ortalama yağış (mm)

P: yıllık ortalama yağış (mm)

Yağış Erozif Faktörü Formülü (R Faktör): $(4.17 * MFI) - 152$

Yağış Erozif Faktörü (R Faktör) değerleri hesaplandıktan sonra Sayısal Yükselti Modeli (SYM)'ne enterpole edilerek haritalanmıştır.

Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanmış olan 1/25.000 ölçekli toprak haritaları revize edilerek, inceleme alanının toprak türleri belirlenmiştir. Toprak erozyon faktörü haritasının hazırlanma aşamasında gerekli olan K faktör değerleri ise Türkiye genelinde yapılmış ve Çanakkale ilinden örneklenmiş veriler (Doğan vd., 2000) dikkate alınarak oluşturulmuştur. K faktör değerleri öznitelik tablosuna işlendikten sonra 10 m * 10 m hücre (raster) şeklinde haritalara dönüştürülmüştür.

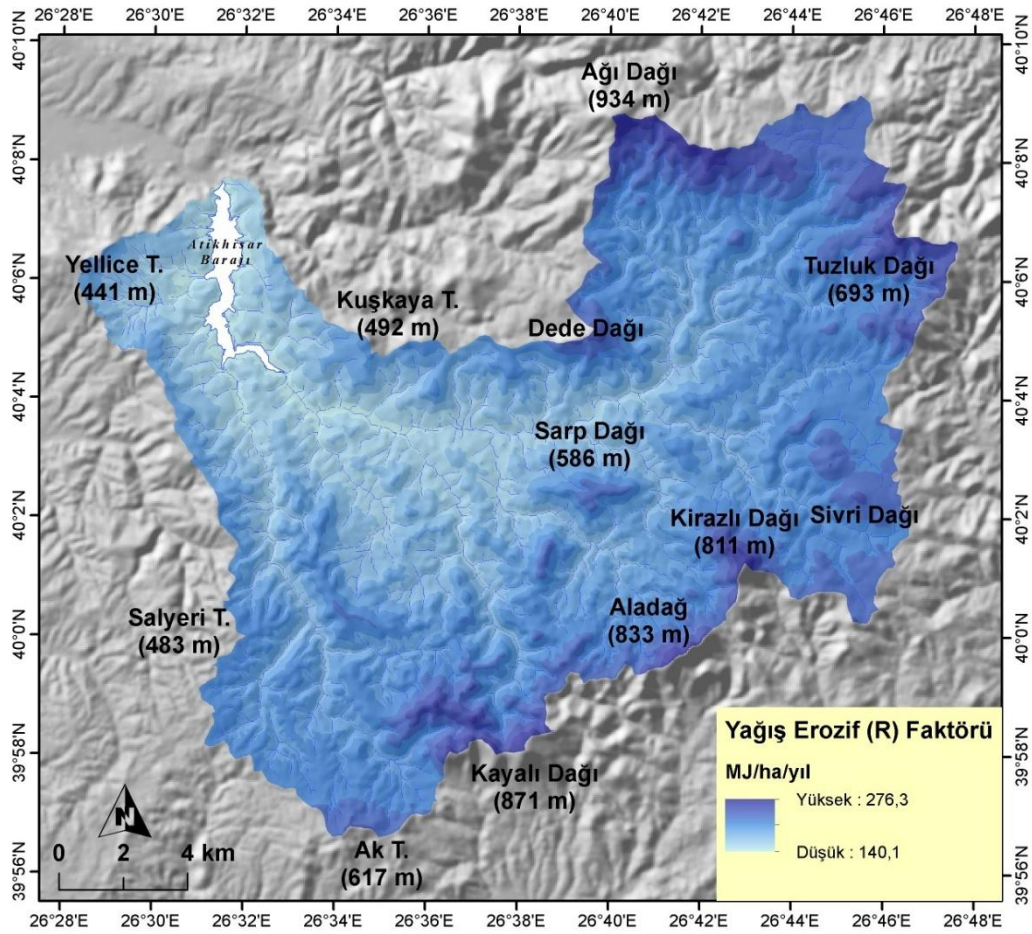
LS faktörünü hesaplamak amacıyla birçok formül kullanılmaktadır (Millward ve Mersey, 1999; Moore ve Wilson, 1992; Cürebal ve Ekinci, 2006; Efe vd., 2008a, Efe vd., 2008b; Pandey vd., 2009; Gaubi vd., 2017; Zeng, vd., 2017). Bu çalışmada, LS faktörü haritasının oluşturulması için (Moore ve Burch, 1986a; Moore ve

Burch, 1986b) ve (Mitasova vd., 1996) tarafından geliştirilen formül kullanılmıştır. Eğim uzunluk (L) ve eğim diklik (S) haritası sayısal yükselti modeline özel formüller uygulanarak elde edilmiştir (Desmet ve Govers, 1996; Mitasova vd., 1996). Öncelikle SYM kullanılarak Mekânsal Analiz (Spatial Analyst) aracı kullanılarak, yüzey (Surface) menüsü altında yer alan eğim (Slope) analizi ile eğim haritası derece olarak üretilmiştir. Daha sonra eğim haritası kullanılarak hidroloji (Hydrology) menüsü altındaki akış yönü (Flow Direction) analizi ile akış yönü haritası oluşturulmuştur. Akış yönü haritası ile aynı menü altındaki akış toplamı (Flow Accumulation) analizi kullanılarak akış toplamı haritası üretilmiştir. Son aşamada ise mekânsal analiz aracının altındaki Map Algebra aracı ile aşağıdaki formül kullanılarak LS Faktör haritası üretilmiştir.

Formül şöyledir:

$$(\text{Power}(((\text{"FlowAccumulation"} * 10)/22.1), 0.4)) * (\text{Power}((\text{Sin}((\text{"Slope_Degree"} * 0.01745)) / 0.09), 1.4) * 1.4)$$

Arazi kullanım faktörü haritası, 2018 yılına ait Corine (Coordination of Information on the Environment - Çevresel Bilginin Koordinasyonu) verileri (Avrupa Çevre Ajansı, 2018) kullanılarak üretilmiştir. Sonrasında ilgili literatür taranarak öğrenilen C Faktör değerleri öznetelik verisine eklenerek 10*10 grid tabanlı haritalara dönüştürülmüştür.



Şekil 3. Atikhisar Barajı Havzasının Yağış Erozi (R) Faktör Haritası

3. Bulgular

3.1. Yağış Erozyon Faktörü (R Faktör)

Yağış erozi faktörünün toprak erozyonu üzerindeki etkisi önemlidir. Yağış miktarı, şiddeti ve süresi ile yağmur damlalarının yere düşme açısı, büyüklüğü ve darbe etkisi toprak erozyonu üzerinde etkilidir. Yağmur damlacıkları toprak partiküllerinin taşınmasına neden olan yüzeysel akışı meydana getirirler. Eğim yönünde kanallı olan bu sular damla çarpması sonucu kopan toprak partiküllerini suyun taşıma gücü ile eğim doğrultusunda hareket ettirirler. Bu etkileri belirlemek amacıyla farklı ampirik formüller önerilmiştir (Moore, 1979; Rijks, vd., 1998; Wischmeier ve Smith, 1978; Cooley, 1980, Lorito vd., 2004). İnceleme alanına ait yağış verileri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2: Çanakkale Meteoroloji İstasyonu (1929-2024) Aylık Ortalama Yağış Verileri (Yükselti: 6 m) Meteoroloji İstasyonu

Meteoroloji İstasyonu	AYLAR												Yıllık
	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	
Çanakkale	91.4	71.6	65.7	45.0	29.7	25.6	14.4	10.7	24.5	53.8	84.8	106.0	623.2

Tablo 3' te gösterildiği gibi aylık yağış değerlerinin karesi alınmıştır. Yağışın her 100 metrede yıllık 54 mm, aylık 4.5 mm (54 mm / 12 ay = 4.5 mm) artacağı varsayımı dikkate alınarak havzadaki en yüksek noktaya kadar yükselti basamakları için ayrı ayrı yağış ve yağışın karesi hesaplanmıştır.

Tablo 3: Aylık ortalama yağış değerlerinin karelerinin alınması işlemi

Yükselti	Veriler	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	Toplam
6 m	Yağış (mm)	91.4	71.6	65.7	45.0	29.7	25.6	14.4	10.7	24.5	53.8	84.8	106.0	623.2
	Yağışın Karesi	8354.0	5126.6	4316.5	2025.0	882.1	655.4	207.4	114.5	600.3	2894.4	7191.0	11236.0	43603.0
106 m	Yağış (mm)	95.9	76.1	70.2	49.5	34.2	30.1	18.9	15.2	29.0	58.3	89.3	110.5	677.2
	Yağışın Karesi	9196.8	5791.2	4928.0	2450.3	1169.6	906.0	357.2	231.0	841.0	3398.9	7974.5	12210.3	49454.8

Aylık yağışın kareleri toplamı (43603), toplam yağışa (623.2) bölündüğünde 70.0 MFI değerine ulaşılmıştır. MFI değeri (70.0), 4.17 sabit katsayı ile çarpılmış ve çıkan sonuçtan yine sabit bir değer olan 152 ile çıkarılmıştır. Sonuç olarak 6 m için R değeri 140.1 MJ/ha/yıl olarak bulunmuştur. Bu işlem her yükselti basamağı için uygulanmış ve her basamak için ayrı ayrı R değeri hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler hücre tabanlı olarak haritalanmıştır (Şekil 3).

3.2. Toprak Direnç Faktörü (K Faktör)

Toprağın strüktürü, tekstürü, tanelerin boyutu, geçirgenliği, su tutma kapasitesi ve profili gibi özellikleri erozyona karşı duyarlılık değerini belirleyen başlıca kriterlerdir (Wischmeier vd., 1971; Renard vd., 1997; Millward ve Mersey, 1999; Mater, 2004; Cürebal ve Ekinci, 2006; Efe vd., 2008a, Efe vd., 2008b; Atalay, 2011; Atalay vd., 2019). İnceleme alanında kahverengi orman toprakları ve kireçsiz kahverengi orman toprakları olmak üzere iki tip toprak türü mevcuttur (Şekil 4; Tablo 4).

Tablo 4: Atikhisar Barajı Havzasının K Faktörü Tablosu *

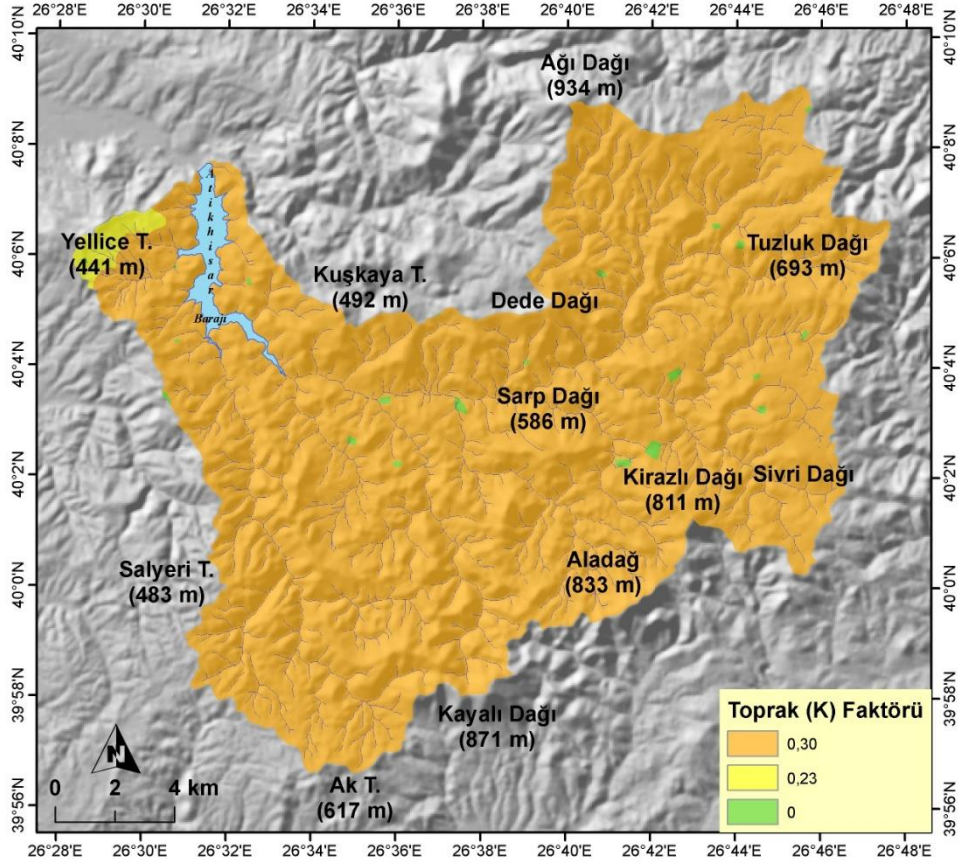
Toprak Türü	K Değeri (ton/ha)
Kahverengi Orman Toprakları	0.23
Kireçsiz Kahverengi Orman Toprakları	0.30
Yerleşme ve Su Yüzeyleri	0.00

* Tablodaki K değerleri, Türkiye genelinde yapılmış ve Çanakkale ilinden örneklenmiş veriler (Doğan vd., 2000) dikkate alınarak oluşturulmuştur.

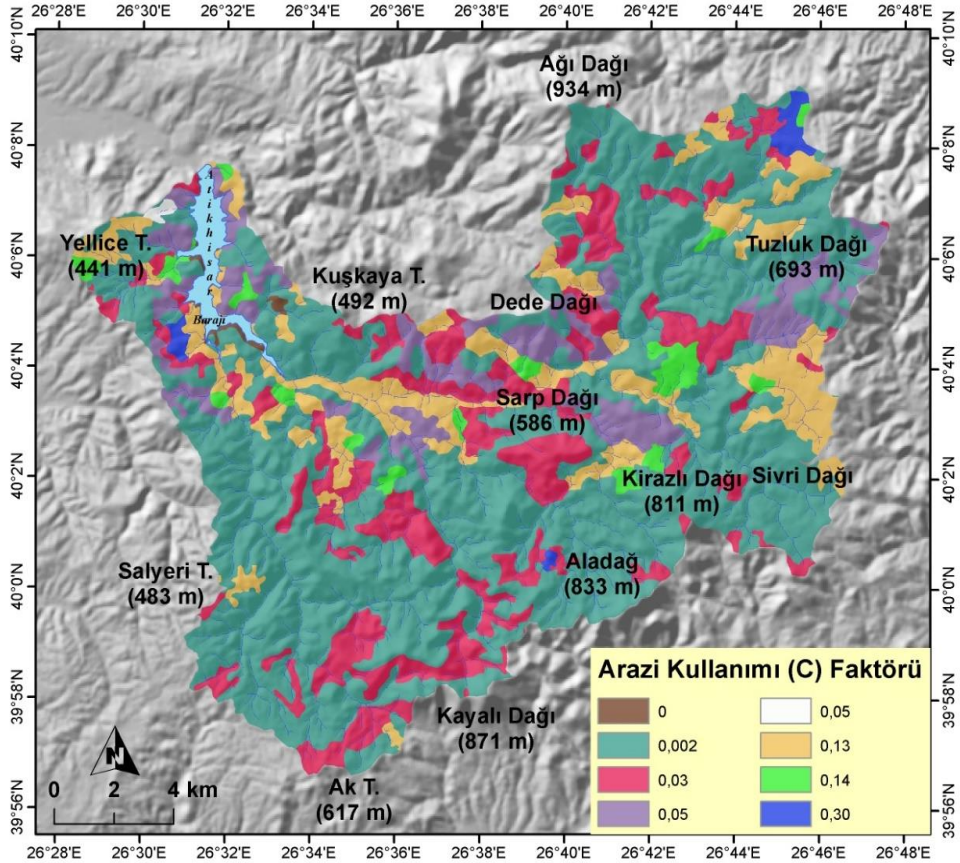
3.3. Arazi Örtüsü/Arazi Kullanımı ve Yönetimi Faktörü (C Faktör)

Yağış, infiltrasyon ve debi arasındaki ilişkiyi şekillendirip yağmur damlacıklarının zemine yaptığı darbe etkisini belirleyen parametrelerin başında arazi kullanımı özellikleri gelmektedir. Arazi kullanımı özellikleri ve zeminin kapalılık derecesi erozyonun şiddeti ve boyutları üzerinde önemli bir rol oynamaktadır (Cürebal ve Ekinci, 2006; Atalay ve Cürebal, 2018; Mutlu ve Soykan, 2018; Mutlu vd., 2021; Fıçırcı ve Soykan 2022; Aykır ve Fıçırcı, 2022; Özşahin 2011; Özşahin vd., 2019; Özşahin, 2023; Durak, 2024). Yoğun bitki örtüsü ile kaplı alanlarda yağmur suları büyük oranda ağaçlar, çalılar ve otsu bitkiler tarafından tutulur ve doğrudan yüzeysel akışa geçemezler. İntersepsiyon adı verilen bu olay erozyonu yavaşlatan bir etkiye sahiptir.

Atikhisar Barajı Havzası bitki örtüsü açısından zengindir. Yoğun bitki örtüsü ile kaplı ormanlık alanlar (iğne yapraklı, geniş yapraklı, karışık ormanlar olmak üzere) havzanın yarısından fazlasını kaplamaktadır (Tablo 5; Şekil 5). Bitki değişim alanları, Doğal Bitki Örtüsü ile Birlikte Bulunan Tarım Alanları, doğal çayır/özlükler, karışık tarım alanları, sulanmayan ekilebilir alanlar, madenler, sklerofil bitki örtüsü diğer arazi kullanım gruplarını oluşturmaktadır.



Şekil 4: Atıkhisar Barajı Havzasının Toprak (K) Faktörü Haritası



Şekil 5: Atıkhisar Barajı Havzasının Arazi Kullanımı (C) Faktör Haritası

Tablo 5: Atikhisar Barajı Havzası C Faktörü Tablosu*

Arazi Kullanımı Sınıfları	C Faktörü	Alan (km ²)	Oran (%)
İğne Yapraklı Ormanlar	0.002	95.5	28,4
Karışık Ormanlar	0.002	82.5	24,5
Bitki Değişim Alanları	0.03	56.8	16,9
Doğal Bitki Örtüsü ile Birlikte Bulunan Tarım Alanları	0.13	40.3	12,0
Doğal Çayırliklar	0.05	28.8	8,6
Geniş Yapraklı Ormanlar	0.002	17.4	5,2
Karışık Tarım Alanları	0.14	8.2	2,4
Su Kütleleri	0	3.3	1,0
Sulanmayan Ekilebilir Alanlar	0.3	2.7	0,8
Madenler	0.0	0.3	0,1
Sklerofil Bitki Örtüsü	0.06	0.5	0,1
TOPLAM		336.3	100.0

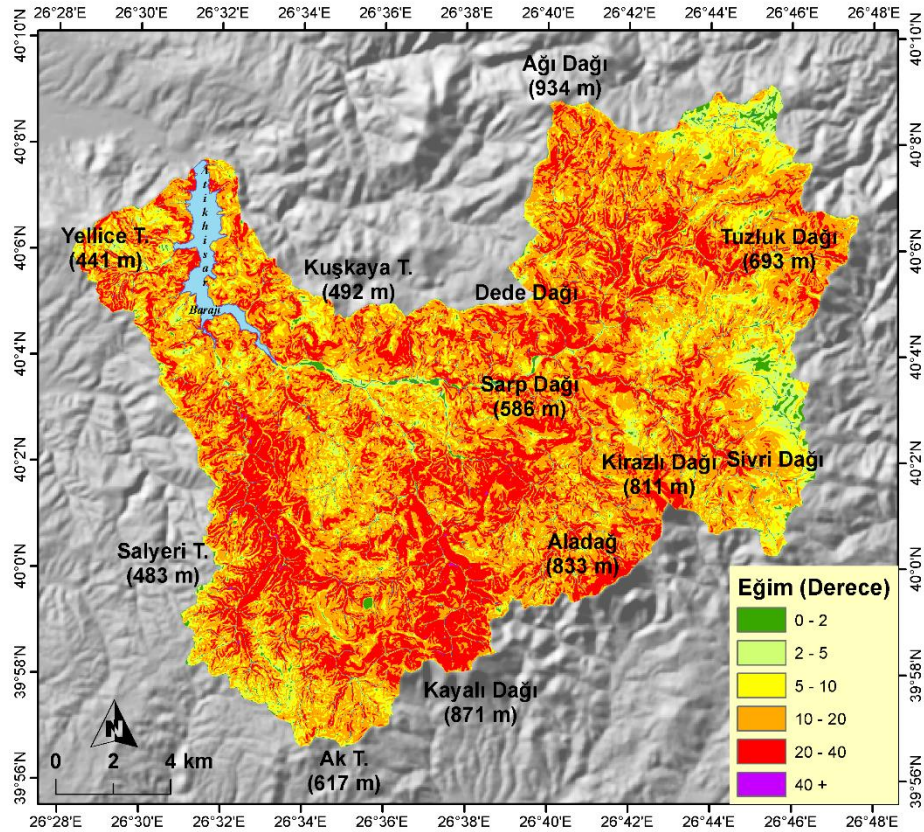
* Tablodaki C faktörü değerleri Panagos vd., 2015 kullanılarak oluşturulmuştur.

3.4. Eğim Uzunluk ve Eğim Diklik (LS Faktörü)

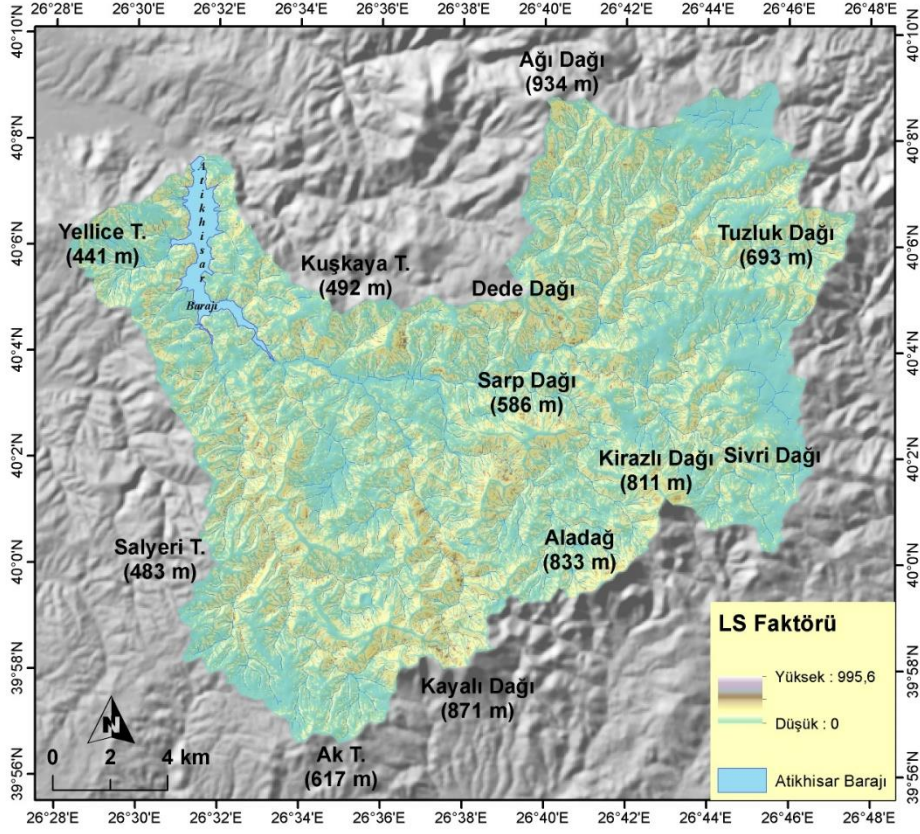
Eğim, erozyona etki eden önemli bir topografya faktörüdür. Eğim değerleri arttıkça erozyonun şiddeti ve boyutları da artmaktadır. Eğim suyun debisi üzerine etki ederek erozyonun şiddetini ve boyutunu dolaylı yoldan etkilemektedir.

Atikhisar barajı havzasının eğim özellikleri sınıflandırılırken erozyon ile ilgili literatür dikkate alınmıştır (Cürebal, 2006; Özşahin, 2011). Eğim özellikleri havzanın orta ve güney çıkırında belirgin bir artış göstermek ile birlikte havzanın batısında ve doğusunda düşük değerlere sahiptir. Havzanın 2/3'ünü eğimi 6 ile 18 derece arasında olan sahalara kaplamaktadır (Şekil 6).

Yapılan analizler sonucunda LS değerinin arttığı alanlar ile eğim değerinin yüksek olduğu alanların paralel olduğu gözlemlenmiştir. Bu alanlar aynı zamanda aşınımın ve erozyon hassasiyetinin de yüksek olduğu yerlere karşılık gelirken eğim ve LS değerinin düşük olduğu ova ve vadi tabanları ise aşınım ve erozyon hassasiyetinin düşük olduğu sahalardır (Şekil 6; Şekil 7).



Şekil 6: Atikhisar Barajı Havzasının Eğim Haritası



Şekil 7: Atikhisar Barajı Havzasının LS Faktör Haritası

3.5. Erozyon Önleyici (P Factor) Faktörler

P faktörü, erozyonu önlemek amacıyla kullanılan yöntemleri ifade eder (Lane vd., 1992; Renard vd., 1997). Yüksek eğimli yamaçlarda teraslama ve bitki örtüsünün yoğunluğunu artırma kullanılan tekniklere örnek olarak verilebilir. P faktörü 0 ile 1 değerleri arasında değişkenlik göstermektedir. Değer 0'a yaklaştıkça erozyon duyarlılığı azalırken 1'e yaklaştıkça erozyon duyarlılığı artmaktadır. Atikhisar barajı havzasında erozyon önleyici faktörlerin erozyonu önlemede etkileri düşüktür. Bu nedenle P faktörü için 1 değeri kullanılarak denklem dışı bırakılmıştır.

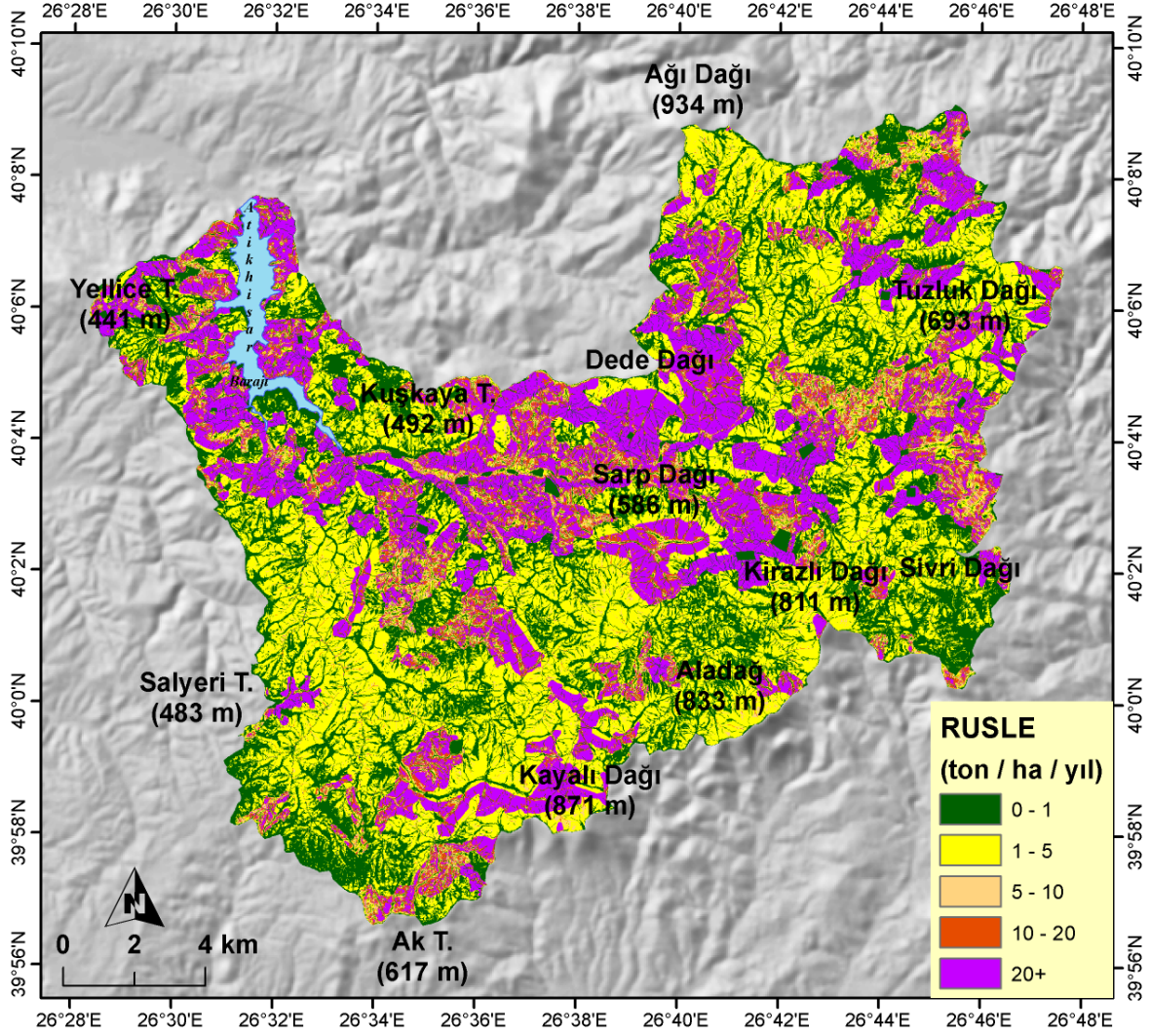
4. Tartışma ve Sonuç

Atikhisar barajı havzasında RUSLE yöntemi kullanılarak yapılan bu çalışmada, havzadaki erozyon duyarlılık dereceleri ve yıllık tahmini toprak kaybı miktarı belirlenmiştir. Beş farklı duyarlılık sınıfının ayırt edildiği çalışma sahasında duyarlılık sınıfları, T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Erozyon ve Çölleşme ile Mücadele Genel Müdürlüğü tarafından yayımlanan erozyon ile mücadele eylem planlarında (2013-2017) kullanılan eşik değerleri dikkate alınarak belirlenmiştir. Bu değerlere göre çok hafif duyarlı alanlar 104.5 km² ile havzanın %31.1'ini, hafif duyarlı alanlar 115.2 km² ile %34.2'sini, orta şiddetli duyarlı alanlar 16.7 km² ile %5.0'ini, şiddetli erozyon duyarlılığına sahip alanlar 26.4 km² ile %7.8'ini, çok şiddetli duyarlılığa sahip alanlar ise 73.5 km² ile havzanın %21.9'unu oluşturmaktadır (Tablo 6, Şekil 8).

Toprak kayıp miktarı haritası (Şekil 8) incelendiğinde çok şiddetli erozyon hassasiyeti görülen alanların büyük oranda bitki örtüsünden yoksun çıplak kayalık alanlara karşılık geldiği görülmektedir. Eğim değerleri 6°'nin üzerinde olan ve doğal bitki örtüsü ortadan kaldırılarak tarım faaliyetinin yürütüldüğü kesimler yüksek ve şiddetli erozyon hassasiyetine sahip alanlardır. Havzanın geriye kalan kesimlerinde ise hafif ve orta şiddetli erozyon gözlemlenmektedir (Şekil 8).

Orman ve Su İşleri Bakanlığı'nın, Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü tarafından yayınlanan Türkiye Su Erozyon Atlası'nda Türkiye yıllık ortalama toprak kaybı 8.24 ton/ha/yıl olarak hesaplanmıştır (Erpul vd., 2018; DEMIS, 2021). Marmara Bölgesi ölçeğinde yapılan bir yüksek lisans tezinde

1989 - 2017 yılları arasını kapsayan dönem için yıllık ortalama toprak kaybı 12.2 ton/ha/yıl olarak tespit edilmiştir (Ezer, 2015). İnceleme alanı ve yakın çevresinde bölgesel ölçekte yapılan çalışmalar incelendiğinde ise Trakya Yarımadası'nda yıllık ortalama toprak kaybı 5 ton/ha/yıl (İkiel vd., 2020); Gelibolu Yarımadası'nda yıllık ortalama toprak kaybı 4.79 ton/ha/yıl'dır (Pektezel, 2015). İnceleme alanının yıllık ortalama toprak kaybı ise 11.7 ton/ha/yıl olarak hesaplanmıştır. Bu değer Marmara Bölgesi için yapılan araştırmadaki 12.2 ton/ha/yıl verisi ile örtüşmektedir. Ancak Türkiye ortalaması olarak hesaplanan 8.24 ton/ha/yıl değerinin üzerindedir.



Şekil 8: Atikhisar Barajı Havzasının RUSLE - Erozyon Duyarlılık Haritası

Tablo 6: Atikhisar Barajı Havzası Erozyon Duyarlılık Sınıfları*

Erozyon Duyarlılık Sınıfları	Toprak Kaybı	Alan	
	ton/ha/yıl	km ²	(%)
Çok Hafif	0 - 1	104.5	31.1
Hafif	1 - 5	115.2	34.2
Orta Şiddetli	5 - 10	16.7	5.0
Şiddetli	10 - 20	26.4	7.8
Çok Şiddetli	20 <	73.5	21.9
TOPLAM		336.3	100.0

* Dinamik Erozyon Modeli ve İzleme Sistemi (DEMİS) ile belirlenen sonuç haritasındaki eşik değerleri kullanılmıştır.

RUSLE yöntemiyle hazırlanmış bu çalışmada elde edilen bulguların baraj rezervuarında yapılan batimetrik ölçümler ile karşılaştırılması yöntemin geçerliliğinin ispatı açısından gerekliliktir. D.S.İ. ile yapılan sözlü görüşmelerde batimetrik ölçümlerin yapıldığı ancak sağlıklı veri üretilmediği belirtilmiştir. Batimetrik ölçümler ile sağlama yapıldığında baraj planlamalarında ve barajların ekonomik ömürlerinin belirlenmesinde ampirik yöntemlerin kullanımı ve özellikle MUSLE yönteminin tercih edilmesi konusu netleşecektir.

5. Etik Standartlara Uygunluk

a) Yazarların katkıları

Çalışmanın konsepti, tasarımı, analizleri, analizlerin yorumlanması, haritalaması ve yazımı M.D ve İ.C tarafından yapılmıştır.

b) Çıkar çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan ettiler.

6. Kaynakça

- Arnoldus, H.M.J. (1980). An approximation of the rainfall factor in the universal soil loss equation, pp. 127-132. In: De Boodt, M. and Gabriels, D., Eds., Assessment of erosion, John Wiley and Sons, New York.
- Atalay, İ. (1983). Soil erosion and its effects on the transportation and modern sedimentation in Turkey. Ege Coğrafya Dergisi, 2: 31-48.
- Atalay, İ. (2011). Toprak oluşumu, sınıflandırılması ve coğrafyası. Meta Basım Matbaacılık, İzmir.
- Atalay, İ. ve Cürebal, İ. (2018). Türkiye’de erozyonu önleme ve erozyon miktarını belirlemeye yönelik çalışmalar, ss. 296-327. Atalay, İ., Uygulamalı Hidrografya içinde, META Basım Matbaacılık Hizmetleri, İzmir.
- Atalay, İ., Altunbaş, S. ve Siler, M. (2019). The importance of marl deposits on the soil formation, land use and land degradation in Turkey. International Soil Congress Proceedings Book, Ankara.
- Atalay Dutucu, A. ve Mutlu, YE. (2022). Yuvacık Barajı Havzası’nda Erozyon Risk Analizi. Ege Coğrafya Dergisi, 31(2): 289-303. DOI:10.51800/ecd.1133879
- Avrupa Çevre Ajansı (2018). European Environment Agency, CORINE Land Cover. <https://www.eea.europa.eu/publications/COR0-landcover> (Erişim T.: 17.06.2018).
- Aykır, D. ve Fıçırcı, M. (2022). Çıldır Gölü Havzasında Erozyon Risk Analizi. Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi, 9: 38-49.
- Bhatti, MT., Ashraf, M. and Anwar, AA. (2021). Soil erosion and sediment load management strategies for sustainable irrigation in arid regions. Sustainability, 13:3547. <https://doi.org/10.3390/su13063547>.
- Borrelli, P., Robinson, D.A., Panagos, P., Lugato, E., Yang, J.E., Alewell, C., Wuepper, D., Montanarella, L. and Ballabio C. (2020). Land use and climate change impacts on global soil erosion by water (2015-2070). Proceedings of the National Academy of Sciences, 117 (36):21994-22001. <https://doi.org/10.1073/pnas.2001403117>.
- Cooley, K. R. (1980). Erosivity “R” for individual design storms, pp. 386-397. In W.G. Knisel (Ed.), CREAMS: A field-scale model for chemicals, runoff, and erosion from agricultural management systems (USDA-SEA Conservation Research Rep. No. 26). Washington, DC: USDA.
- Cürebal, İ. ve Ekinci, D. (2006). Kızılkeçili Deresi Havzasında CBS tabanlı MUSLE (3d) yöntemiyle erozyon analizi. Türk Coğrafya Dergisi, 47: 115–130.
- Cürebal, İ., Efe, R., Soykan, A. ve Sönmez, S. (2012). Üç boyutlu modelleme kullanılarak siltasyon miktarının ölçülmesi: Çaygören Barajı Örneği. UJES 2012, III. Ulusal Jeomorfoloji Sempozyumu Bildiriler Kitabı, ss. 729-738, Hatay.
- DEMİS (2021). Dinamik Erozyon Modeli ve İzleme Sistemi (DEMİS), Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü, <https://cem.csb.gov.tr/dinamik-erozyon-modeli-ve-izleme-sistemi-demis-i-108100> / <https://webdosya.csb.gov.tr/db/cem/icerikler/dem-s-20240925111716.pdf>

- Desmet, P.J. & Govers, G. (1996). A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. *Journal of Soil and Water Conservation*, 51: 427–433.
- D.S.İ. (1967). Çanakkale Atikhisar projesi planlama raporu.
- Doğan, O., Cebel, H., Küçükçakar, N., Akgül, S. (2000). Türkiye büyük toprak gruplarının erozyona duyarlılık "K" faktörleri, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü APK Dairesi Başkanlığı Toprak ve Su Kaynakları Araştırma Şube Müdürlüğü; Yayın No:111. Rehber No:17, Ankara. <https://kutuphane.tarimorman.gov.tr/vufind/MyResearch/UserLogin>
- Durak, M. (2024). Erosion analysis of Kuruçay Stream basin (Edremit—Balıkesir, Türkiye). *Journal of the Bulgarian Geographical Society* 51: 23–44. <https://doi.org/10.3897/jbgs.e128013>
- Dutta, S. (2016). Soil erosion, sediment yield and sedimentation of reservoir: a review. *Model. Earth Systems and Environment*, 2:123. <https://doi.org/10.1007/s40808-016-0182-y>.
- Efe, R., Ekinci, D. ve Cürebal, İ. (2008a). Erosion analysis of Fındıklı Creek Catchment (NW of Turkey) using GIS based on RUSLE (3d) method. *Fresenius Environmental Bulletin*, 17(5): 568–576.
- Efe, R., Ekinci, D. ve Cürebal, İ. (2008b). Erosion analysis of Şahin Creek Watershed (NW of Turkey) using GIS based on RUSLE (3d) method. *Journal of Applied Science*, 8 (1): 49–58.
- Efe, R., Soykan, A., Cürebal, İ. ve Sönmez, S. (2008). Türkiye’de antroposen döneminde doğal çevre bozulmasını etkileyen antropojenik faktörler. Tücaum V. Ulusal Coğrafya Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Ankara.
- Erpul, G., Şahin, S., İnce, K., Küçümen, A., Akdağ, MA., Demirtaş, İ. ve Çetin, E. (2018). Türkiye su erozyonu atlası. Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara.
- Ezer, A. (2015). An Assessment of Soil Erosion Using Rusle Model: A Case Study From The Marmara Region. Master Thesis, Boğaziçi University, İstanbul.
- Fıçı, M. (2021). Madra Barajı Havzasında erozyon analizi. Yayınlanmamış doktora tezi. Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir.
- Fıçı, M. ve Soykan, A. (2022). MPSIAC & RUSLE yöntemleriyle karşılaştırmalı erozyon analizi: Madra Barajı Havzası. *Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi*, 8: 28-47. <https://doi.org/10.46453/jader.1020922>
- Fural, Ş., Kükrer, S., Cürebal, İ. ve Aykır, D. (2021). Spatial distribution, environmental risk assessment, and source identification of potentially toxic metals in Atikhisar dam, Turkey. *Environ Monit Assess.*, 193: 268. <https://doi.org/10.1007/s10661-021-09062-6>
- Gaub, I., Chaabani, A., Mammou, AB. and Hamza, AH. (2017). A GIS-based soil erosion prediction using the revised universal soil loss equation (RUSLE) (Lebna Watershed Cap Bon, Tunisia). *Nat Hazards*, 86: 219-239.
- İlgar, R. (2010). Water risk assessment and spatial analysis of Atikhisar dam using by GIS. *Middle East Journal of Scientific Research*, 5 (5): 359-365.
- İkiel, C., Ustaoglu, B. ve Koç, DE. (2020). Trakya Yarımadası’nda erozyon duyarlılık analizi. *Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi*, 4: 1-14.
- Kale, S. ve Acarlı, D. (2019a). Shoreline change monitoring in Atikhisar Reservoir by using remote sensing and geographic information system (GIS). *Fresenius Environmental Bulletin*, 28 (5): 4329-4339.
- Kale, S. ve Acarlı, D. (2019b). Spatial and temporal change monitoring in water surface area of Atikhisar Reservoir (Çanakkale, Turkey) by using remote sensing and geographic information system techniques. *Alinteri J. of Agr. Sci.*, 34(1): 47-56. DOI: 10.28955/alinterizbd.574361
- Kifelew, M.S., Mesalie, R.A., Shumey, E.E. et al. (2022). Identification of erosion hot spot area using GIS and gully contribution for reservoir sedimentation in the case of Abrajit reservoir, Upper Blue Nile Basin, Ethiopia. *Sustain. Water Resour. Manag.*, 8, 93. <https://doi.org/10.1007/s40899-022-00680-7>.
- Koca, N. (2005). Atikhisar Barajı’nın (Çanakkale) çevresel ve ekonomik etkileri. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 10 (14): 209 – 233.
- Lane, L.J., Renard, K.G., Foster, G.R. and Laften, J.M. (1992). Development and application of modern soil erosion prediction technology-the USDA experience. *Soil and Water Management and Conservation*, 30: 893-912.
- Lazzari, M., Gioia, D., Piccarreta, M., Danese, M. and Lanorte, A. (2015). Sediment yield and erosion rate estimation in the mountain catchments of the Camastra artificial reservoir (Southern Italy): A comparison between different empirical methods. *Catena*, 127:323-339. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.11.021>.

- Lorito, S., Pavanelli, D., Bigi, A., Stanchi, S. and Vianello, G. (2004). Introduction of GIS-based RUSLE model for land planning and environmental management in three different Italian ecosystems. Department of Environmental and Agricultural Science and Technology (DiSTA), Bologna University, Italy.
- Luo, Y., Lu, M., Wang, H. and Qiu, A. (2019). Recent soil erosion in the Hongfeng catchment on the Guizhou Plateau, SW China revealed by analysis of reservoir sediments and soil loss modeling. *Journal of Paleolimnology*, 61:17-35. <https://doi.org/10.1007/s10933-018-0042-z>.
- Mahmood M. Al-Mamari, Sameh A. Kantoush, Tahani M. Al-Harrasi, Ali Al-Maktoumi, Karim I. Abdrabo, Mohamed Saber and Tetsuya Sumi (2023). Assessment of sediment yield and deposition in a dry reservoir using field observations, RUSLE and remote sensing: Wadi Assarin, Oman. *Journal of Hydrology*, 617, Part A, February 2023, 128982.
- Mater, B. (2004). Toprak coğrafyası. Çantay Kitabevi, İstanbul.
- Millward, AA. and Mersey, JE. (1999). Adapting the RUSLE to model soil erosion potential in a mountainous tropical watershed. *Catena*, 38: 109-129.
- Miranda, MN., Rosa, C., Peres, A. and Maia, R. (2021). Sedimentation assessment and effects in Venda Nova dam reservoir (Portugal). *Science of The Total Environment*, 766: 144261. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144261>.
- Mitasova, H., Hofierka, J., Zlocha, M. and Iverson, LR. (1996). Modeling topographic potential for erosion and deposotion using GIS. *Journal of Geographical Information Science*, 10 (5): 629-641.
- Moore, RR. (1979). Rainfall erosivity in East Africa: Kenya, Tanzania, Uganda. *Geografiska Annaler*, 61: 147-156.
- Moore, I. and Burch, G. (1986a). Physical basis of the length-slope factor in the universal soil loss equation. *Soil Science Society of America Journal* 50, 1294–1298.
- Moore, I. and Burch, G. (1986b). Modeling erosion and deposition: topographic effects. *Transactions of ASAE*, 29 (6): 1624–1640.
- Moore, ID. and Wilson, JP. (1992). Length-slope factors for the revised universal soil loss equation: simplified method of estimation. *Journal of Soil and Water Conservation*, 47: 423–428.
- Mutlu, YE. ve Soykan, A. (2018). Rusle (3d) modeli kullanılarak toprak erozyonu tahmini: Havran Çayı Örneği. *Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi*, 1: 50–66.
- Mutlu, YE., Soykan, A. ve Fıçıcı, M. (2021). Kille Çayı (Balıkesir) Havzasında erozyon risk analizi. *Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi*, 6: 98-111.
- Nearing, MA., Yin, SG., Borelli, P. and Polyakov, OV. (2017). Rainfall erosivity: an historical rewiew. *Catena*, 157: 357-362.
- Özelkan, E. (2019). Uzaktan algılama ile belirlenen baraj gölü alanının zamansal değişiminin meteorolojik kuraklık ile değerlendirilmesi: Atıkhisar Barajı (Çanakkale) örneği. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 6 (4): 904–916.
- Özelkan, E. ve Karaman, M. (2018). Baraj göllerindeki meteorolojik ve hidrolojik kuraklığın etkisinin çok zamanlı uydu görüntüleri ile analizi: Atıkhisar Barajı (Çanakkale) örneği. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7 (2): 1023-1037.
- Özşahin, E. (2011). Zeytinli Çayı Havzası'nın (Balıkesir) erozyon analizi. *e-Journal of New World Sciences Academy Nature Sciences*, 4A0036, 6 (1): 42-56.
- Özşahin, E. (2014). Tekirdağ İlinde CBS tabanlı RUSLE modeli kullanarak erozyon risk değerlendirmesi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 11(2): 45-56.
- Özşahin, E. (2016). Ergene Havzasında (Trakya) arazi kullanımı ve arazi örtüsü değişikliklerinin erozyon üzerine etkileri. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 31:117-126. <https://doi.org/10.7161/anajas.2016.31.1.117-126>.
- Özşahin, E., Eroğlu, İ. ve Yıldız, H. (2019). GIS based erosion studies in Turkey, pp. 1251-1253. In: Ed. Dimitar Kirilov DIMITROV, Dimitar NIKOLOSKI, Rasim YILMAZ, *Proceedings of International Balkan and Near Eastern Social Sciences Congress Series, Tekirdağ / Turkey, March 09-10, 2019*.
- Özşahin, E., Duru, Ü. and Eroğlu, İ. (2018). Land Use and Land Cover changes (LULCC), a key to understand soil erosion intensities in the Maritsa Basin. *Water*, 10: 335. <https://doi.org/10.3390/w10030335>.
- Özşahin, E. (2023). Farklı erozyon tahmin modellerine göre akarsu sedimantasyon miktarının belirlenmesine bir örnek: Naip Barajı Havzası (Tekirdağ, Türkiye). *Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi*, 10: 1-19. <https://doi.org/10.46453/jader.1203890>

- Özşahin, E. (2024). Spatiotemporal changes of soil erosion rate in the pre-and post-dam construction periods (1990-2018) determined through RUSLE and GIS: the case of the Kavak River Basin, East Thrace, Türkiye. *Environ Dev Sustain*. <https://doi.org/10.1007/s10668-024-05381-z>
- Öztürk, D. (2022). Atikhisar Baraj Gölü batimetrisinin Landsat-5 TM uydu görüntüsünden stumpf algoritması kullanılarak belirlenmesi. *Coğrafya Dergisi*, 45: 97-110.
- Pektezel, H. (2015). Gelibolu Yarımadası'nda CBS tabanlı RUSLE (3d) yöntemiyle erozyon duyarlılık analizi. *Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 17: 131-151.
- Palmieri, A., Shah, F. and Dinar, A. (2001). Economics of reservoir sedimentation and sustainable management of dams. *Journal of Environmental Management*, 61 (2):149-163. <https://doi.org/10.1006/jema.2000.0392>.
- Panagos, P., Borrelli, P., Poesen, J., Ballabio, C., Lugato, E., Meusburger, K., Montanarella, L. and Alewell, C. (2015). The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. *Environmental Science & Policy*, 54, December 2015, pp. 438-447.
- Pandey, A., Mathur, A., Mishra, SK. and Mal, BC. (2009) Soil erosion modeling of a Himalayan Watershed using RS and GIS. *Environmental Earth Sciences*, 59: 399-410.
- Renard, KG., Foster, GR., Weesies, GA. and Porter, JP. (1991). RUSLE: revised universal soil loss equation. *Journal of Soil and Water Conservation*, 46: 30-33.
- Renard, KG., Foster, GR., Weesies, GA., McCool, DK. and Yoder, DC. (1997). Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook 703, USA.
- Rijks, D., Tens JM. and Vossen, P. (1998). Agrometeorological applications for regional crop monitoring and productions assessment. EUR 17735 EN, pp: 505.
- Schreiber, P. (1904). Über die beziehungen zwischen dem niederschlag und der wasserführung der flüsse in Mitteleuropa. *Meteor, Z.*, 21: 441-452.
- Snyder, NP., Rubin, DM., Alpers, CN., Childs, JR., Curtis, JA., Flint, LE. and Wright, SA. (2004). Estimating accumulation rates and physical properties of sediment behind a dam: Englebright Lake, Yuba River, northern California. *Water Resources Research*, 40: W11301. <https://doi.org/10.1029/2004WR003279>.
- Soukhaphon, A., Baird, IG. and Hogan, ZS. (2021). The impacts of Hydropower Dams in the Mekong River Basin: a review. *Water*, 13(3):265. <https://doi.org/10.3390/w13030265>.
- T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Çölleşme ve Erozyon ile Mücadele Genel Müdürlüğü. (2013-2017). Erozyon ile Mücadele Eylem Planı. www.cem.gov.tr
- Toptepe, E. (2011). Atikhisar barajı havzasının sürdürülebilirlik değerlendirmesi. Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale.
- Thiet, NV., Orange, D., Laffy, D. and Cu, PV. (2012). Consequences of large hydropower dams on erosion budget within hilly agricultural catchments in Northern Vietnam by RUSLE modeling. Hanoi: IRD, 8 p. multigr. International Conference Sediment Transport Modeling in Hydrological Watersheds and Rivers, Istanbul (TUR), 2012/11/14-16.
- Wischmeier WH, Johnson CB, Cross BV (1971). A soil erodibility nomograph for farm-land and construction sites, *J. Soil and Water Conserv.* 26: 189-193.
- Wischmeier, WH. and Smith, DD. (1978). Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. U S Department of Agriculture Habdbbook, Washington D C.
- Zeng, C., Wang, S., Bai, X., Li, Y., Tian, Y., Li, Y., Wu, L. and Luo, G. (2017) Soil erosion evolution and spatial correlation analysis in a typical karst geomorphology using RUSLE with GIS. *Solid Earth*, 8: 721-736.