



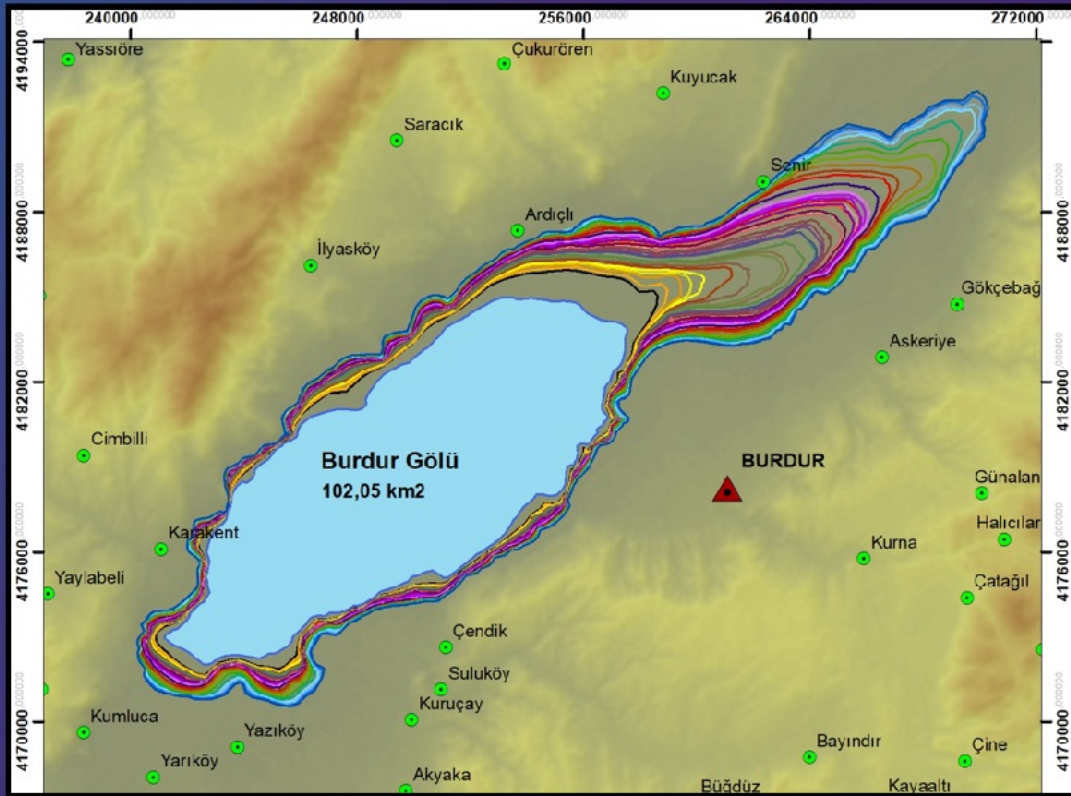
Türk Coğrafya Kurumu
Turkish Geographical Society

(basılı) ISSN 1302-5856
(elektronik) ISSN 1308-9773

TÜRK COĞRAFYA DERGİSİ



Turkish Geographical Review
Revue Turque de Géographie
Turkische Geographische Zeitschrift



İstanbul-2023

Sayı: 82

Türk Coğrafya Kurumu

TÜRK COĞRAFYA DERGİSİ

TURKISH GEOGRAPHICAL REVIEW
REVUE DE GÉOGRAPHIE TURQUE
TURKISCHE GEOGRAPHISCHE ZEITSCHRIFT



Sahibi / The Owner

Türk Coğrafya Kurumu adına Başkan / *The president on behalf of Turkish Geographical Society*

Prof. Dr. Barbaros GÖNENÇGİL

Editörler/Editors

Cihan BAYRAKDAR (Istanbul University - Türkiye, Baş Editör/*Editor in-Chief*)

Mehmet ŞEREMET (Van Yuzuncu Yıl University - Türkiye, Editör Yardımcısı / *Co-Editor*),

Dergi Yayın Kurulu / Editorial Board Members

Barbaros GÖNENÇGİL (Istanbul University - Turkey)
Fenzhen SU (University of Chinese Academy of Sciences -China)
İbrahim SİRKECİ (Transnational Press London - UK)
İhsan ÇİÇEK (Ankara University - Turkey)
İhsan BULUT (Akdeniz University - Turkey)
Ian S. EVANS (Durham University - United Kingdom)
Josef KRECEK (Czech Technical University - Czech Republic)
Julian BRİGSTOCKE (Cardiff University - UK)
T. Ahmet ERTEK (Istanbul University - Turkey)
Maria PARADISO (University of Sannio in Benevento - Italy)
Martin HAİGH (Oxford Brookes University - UK)
Michael MEADOWS (University of Cape Town - Africa)
Naki AKÇAR (University of Bern - Switzerland)

Türk Coğrafya Dergisi, Haziran ve Aralık aylarında yılda iki kez online yayınlanmakta olup hakemli uluslararası bir dergidir. Derginin yayın dili Türkçe ve İngilizce'dir

Turkish Geographical Review is a peer-reviewed international journal, publishing two-issue a year (June and December). TGR's has been published online in both Turkish and English.

Dergideki yazıların içeriğinden yazarları sorumludur. Although it is a double-blinded academic journal, the authors have complete responsibility for the content of the papers.

ISSN

(Basılı) 1302-5856
(Elektronik) 1308-9773
Sürelî Yerel Yayın

Derginin Yayın Adresi / Journal's website

www.tcd.org.tr

İletişim / e-mail

editor@tcd.org.tr

Yayınlayan Kuruluşun Adresi / The address of publication institution

Türk Coğrafya Kurumu
Reşitpaşa Cad. No 44/49
Laleli/İSTANBUL

Ulusal ve Uluslararası İndeksler / Indexes

TÜBİTAK - ULAKBİM (TR Dizin)
Index Copernicus
Journal Seek
ASOS Index
Sobiad
Copernicus Master List (since 2020)

Kapak fotoğrafı / Picture in Cover Page

Dr. Öğr. Üyesi Çağan ALEYKAYALI

Kapak Dizaynı / Cover Page Design

Prof. Dr. Ahmet Evren ERGİNAL, Doç.Dr. Cihan BAYRAKDAR

Dergi formatı / The Journal Design

Prof. Dr. Hasan ÖZDEMİR

Yabancı Dil Editörü / Foreign Language Editor

Doç.Dr. Mehmet ŞEREMET

Mizanpaj Editörü / The Print Editor

Arş.Gör. Onur HALİS

TÜRK COĞRAFYA DERGİSİ

TURKISH GEOGRAPHICAL REVIEW
REVUE DE GÉOGRAPHIE TURQUE
TURKISCHE GEOGRAPHISCHE ZEITSCHRIFT

2023

Sayı/Volume: 82

İçindekiler/ Contents

Sayfalar/ Pages

Editörden / Editorial.....	1-6	
<u>Araştırma Makaleleri / Original Articles</u>		
Zekeriya KONURHAN, Melih YÜCESAN Muhammet GÜL	An integrated Bayesian Best-Worst Method and GIS-based approach for offshore wind power plant site selection: A case study in North Aegean and Marmara Sea (Türkiye) <i>Açık deniz rüzgar enerjisi santrali saha seçimi için entegre bir Bayesian En İyi-En Kötü Yöntemi ve CBS tabanlı yaklaşım: Kuzey Ege ve Marmara Denizi'nde (Türkiye) bir vaka çalışması.....</i>	7-22
Zeki Bora ÖN	Dates of Holocene environmental changes in Lake Bafa: A hierarchical Bayesian analysis of change points <i>Holosen'de Bafa Gölü'ndeki ortamsal değişikliklerin tarihleri: Hiyerarşik Bayes değişim noktası.....</i>	23-36
Çağan ALEVKAYALI, Yıldırım ATAYETER, Onur YAYLA, Tuğçe BİLGİN, Hasan AKPINAR	Burdur Gölü'nde uzun dönemli kıyı çizgisi değişimleri ve iklim ilişkisi: Zamansal-mekânsal eğilimler ve tahminler <i>Long-term coastline changes and climate relationship in Burdur Lake: Spatio-temporal trends and forecasts.....</i>	37-50
Büşra KIRCI, Erkan YILMAZ	Türkiye'de belirlenen istasyon çiftlerinde yağış-yükselti ilişkisi <i>The precipitation-elevation relationship in identified station pairs in Turkey.....</i>	51-62
<u>Derleme Makaleleri/ Review Articles</u>		
Mehmet OZDES, Jane SOUTHWORTH	Land Change Science: Understanding the complexity of monitoring protected areas in savanna ecosystems of Sub-Saharan Africa <i>Arazi Değişim Bilimi: Sahra Altı Afrika'daki savan ekosistemlerinde korunan alanları uzaktan algılama ile gözlemlenmenin zorluklarını anlamak.....</i>	63-76

EDİTÖRDEN EDITORIAL

Sevgili Türk Coğrafya Dergisi okurları,

2023 Haziran sayımız olan 82. sayıda 4 adet araştırma ve bir adet derleme makalesi yer almaktadır. Bu makalelerden 2 tanesi beşeri coğrafya ve 3 tanesi fiziki coğrafya konularıyla ilgilidir.

Dergimiz 2023 Aralık ayında yayınlamak üzere, ülkemizi derinden etkileyen 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremlerinin mekânsal etkileri ile sonuçlarını coğrafi bir yaklaşımla ortaya koyacak deprem özel sayısı çıkarılmasına karar verilmiştir. Özel sayıya ilişkin ayrıntılara <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tcd/page/12474> adresinden ulaşabilirsiniz.

Dergimizin uluslararası indekslerde taranma hedefleri kararlılıkla devam etmektedir. Bu kapsamda 2023 yılı başında Clarivate Analytics tarafından yayımlanan Web of Science kapsamındaki bir bilimsel atıf indeksi olan ISI'ye başvurumuz yapılmıştır.

Dergimizin 2023 Haziran 82. sayısında verdikleri katkılardan dolayı mizanpaj editörlerimiz Arş. Gör. Onur HALİS' ve Emin KARAOSMANOĞLU'na teşekkür ederiz.

Bu sayımızda çıkan yayınlarımızı zevkle okuyacağınızı umut eder, gelecek sayıda yeni makaleler ve güzel haberlerle birlikte olmak dileğiyle...

Doç.Dr. Cihan BAYRAKDAR & Doç.Dr.Mehmet ŞEREMET
Türk Coğrafya Dergisi Editörleri
Haziran 2023 / İstanbul

Dear Colleagues,

We are very pleased to share the TGR's 82th June issue in which five papers featuring 4 research and one review papers have been placed, three of which are Physical Geography papers, while the remaining two are related to Human Geography subjects.

As the responsibility of TGR journal, It has been decided to disseminate a special earthquake issue, which dedicates to reveal the spatial effects and socio-economic consequences of the 6th February, 2023 Kahramanmaraş earthquakes, which deeply affected our country. This issue reflects a geographical approach, being published in December 2023. You can access the details of the special issue at <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tcd/page/12474>.

With increasing quality and impact, the TGR commits to be indexed in international citation agencies. As fort his aim, we are pleased to let you know that TGR is now under the evalutation by Web of Science in Clarivate Analytics.

Finally, we also would like to thank you PhDc Onur HALİS and Emin KARAOSMANOĞLU for their invaluable help and contribution to this year's volumes in the process of copy editing and associated volumes' further proceeding to the publication.

Hoping that you will enjoy reading the studies in our final issue of Turkish Geographical Review and that the TGR meets you again with a set of interesting papers and disseminate good news in the coming issue.

Associate Professor Cihan BAYRAKDAR & Associate Professor Mehmet ŞEREMET
The Editors of Turkish Geographical Review
June 2023/ İstanbul

--	--



An integrated Bayesian Best-Worst Method and GIS-based approach for offshore wind power plant site selection: A case study in North Aegean and Marmara Sea (Türkiye)

Açık deniz rüzgâr enerjisi santrali saha seçimi için entegre bir Bayesian En İyi-En Kötü Yöntemi ve CBS tabanlı yaklaşım: Kuzey Ege ve Marmara Denizi'nde (Türkiye) bir vaka çalışması

Zekeriya Konurhan ^{a*}  Melih Yücesan ^b  Muhammet Gül ^c 

^a Munzur University, Department of Geography, Tunceli, Türkiye.

^b Munzur University, Department of Emergency Aid and Disaster Management, Tunceli, Türkiye.

^c Istanbul University, School of Transportation and Logistics, Istanbul, Türkiye.

ORCID: Z.K. 0000-0002-9750-5907; M.Y. 0000-0001-6148-4959; M.G. 0000-0002-5319-4289

BİLGİ / INFO

Geliş/Received: 05.12.2022

Kabul/Accepted: 01.06.2023

Anahtar Kelimeler:

Offshore rüzgâr enerjisi
Yer seçimi
Bayesyen BWM
CBS

Keywords:

Offshore wind energy
Site selection
Bayesian BWM
GIS

*Sorumlu yazar/Corresponding author:

(Z. Konurhan) zkonurhan@munzur.edu.tr

DOI: 10.17211/tcd.1214671



Atf/Citation:

Konurhan, Z., Yücesan, M., & Gül, M. (2023). An integrated Bayesian Best-Worst Method and GIS-based approach for offshore wind power plant site selection: A case study in North Aegean and Marmara Sea (Türkiye). *Türk Coğrafya Dergisi*, (82), 7-22.

<https://doi.org/10.17211/tcd.1214671>

ABSTRACT / ÖZ

In today's world, renewable energy sources are in great demand due to the negative effects of fossil fuels on the environment. Wind power plants are an important renewable energy source alternative to fossil fuel consumption. Offshore wind farms established in coastal areas and seas are used effectively in many parts of the world. The wind power plants, especially in the Northwest region of Turkey and the Aegean coasts, constitute an important potential. This study selects suitable sites for offshore wind farms in the Marmara Sea and North Aegean Coasts of Turkey by integrating the Bayesian Best-Worst method (BWM) and GIS. Bayesian BWM improves the traditional BWM integrating the preferences of multiple experts. In the study, 17 sub-criteria were determined under four main criteria of "technical", "socio-economic", "environment," and "location". Experts' judgments through the filled enabled the criterion weights to be obtained. The criteria weights found using the Bayesian-BWM model were integrated into the GIS, and suitable locations for the offshore wind farm were determined. Accordingly, the study area off the coasts of Aliğa, Bozcaada, and Gökçeada on the North Aegean coast, and the part south of the Marmara Sea and the area around Kapıdağ Peninsula are suggested as suitable areas for wind power plants.

Günümüz dünyasında fosil yakıtların çevreye olan olumsuz etkilerinden dolayı yenilenebilir enerji kaynakları büyük talep görmektedir. Rüzgâr santralleri, fosil yakıt tüketimine alternatif önemli bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Kıyı bölgelerinde ve denizlerde kurulan offshore rüzgâr santralleri dünyanın birçok yerinde etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Rüzgâr santralleri dikkate alındığında özellikle Türkiye'nin Kuzeybatı bölgesi ve Ege kıyıları önemli bir potansiyel oluşturmaktadır. Bu çalışmanın amacı, Bayesian Best-Worst yöntemini (BWM) CBS'ye entegre ederek Türkiye'nin Marmara Denizi ve Kuzey Ege Kıyıları'nda açık deniz rüzgâr santralleri için uygun yer seçimini belirlemektir. Bayesian BWM, birden çok uzmanın tercihlerini etkili bir şekilde entegre ederek orijinal BWM'yi optimize eder. Çalışmada BWM modeli kullanılarak "teknik", "sosyo-ekonomik", "çevre" ve "konum" olmak üzere dört ana kriter altında 17 kriter belirlenmiş, kriterleri içeren anketler uzmanlar tarafından doldurulmuş ve son ağırlıkları verilmiştir. Bayesian-BWM modeli kullanılarak bulunan kriter ağırlıkları CBS'ye entegre edilmiş ve açık deniz rüzgâr çiftliği için uygun yerler bulunmuştur. Buna göre, Kuzey Ege kıyılarındaki Aliğa, Bozcaada ve Gökçeada açıklarındaki çalışma alanı ile Marmara Denizi'nin kısmen güneyi ve Kapıdağ Yarımadası çevresi rüzgâr santrali için uygun alanlar olarak önerilmektedir.

1. Introduction

The interest in renewable energy sources has increased in recent years due to fossil fuels, environmental effects, and being a non-renewable resource (Gao et al., 2020). Wind energy, a renewable energy source, is important among energy sources. First, many facilities were established on land to benefit from wind energy. Developing technology has allowed wind power plants to be installed in the seas after the land (Caceoğlu et al., 2022; Ayodele & Ogunjuyigbe, 2016; Zhao & Ren, 2015). Offshore wind power plants have become popular in recent years due to the uncertainty of wind resources, the difficulty and cost of energy transfer, and the distance from energy demand centers to increase prices (Fan et al., 2016; Markard & Petersen, 2009). The offshore wind speed ratio is higher than on shore. Therefore, more energy can be produced from offshore systems. Today, more investment is made in offshore systems (Díaz & Soares, 2020).

Offshore wind power plants, the smoothness of the seas, their unobstructed nature, and the fact that they are open in many places allow them to receive more and faster winds. Offshore wind power plants can be installed in a much larger area, and the visual and sound effects are deficient (Vasileioua et al., 2017; Salvador et al., 2022). These criteria are important advantages of offshore wind farms. So, installing offshore wind farms have become very common in recent years.

In the last 20 years, electricity generation applications from wind energy have increased significantly. According to the Global Wind Energy Council (GWEC) 2019 report, while the total installed power of wind energy was 24 GW on land and 0 GW in open seas in 2001, it increased to 621 GW on land and 29 GW in open seas in 2019. Accordingly, the installed power of wind farms has increased approximately 30 times worldwide. It will increase to 94 GW in 2021. According to the GWEC scenarios, it is estimated that there will be 1200 GW by 2030. While the rate of offshore wind turbines in this installed

capacity was 0% in 2001, it increased to 5% in 2019 (Fig.1) (GWEC, 2019-2022). In Europe, offshore wind farms' installed power is approximately 28 GW today. European countries have decided to increase the installed capacity of offshore wind power plants up to 160 GW by 2030 (Wind Europe, 2022). As of 2022, Turkey has no significant offshore wind farms (OWF) installations. A major shortcoming is the absence of offshore wind farms in a peninsula like Turkey, surrounded by seas on three sides.

Turkey is a country that imports 75% of the energy it needs. Most of the energy sources in the country are produced from fossil fuels, and only 15% is formed from renewable energy sources. So, the diversity of renewable energy sources should be increased to reduce external energy dependence. Electricity production is mainly produced from hydroelectric power plants, followed by wind energy. According to the Turkish Wind Energy Association (TWEA) 2022 report, the total installed capacity of onshore wind has reached 11101 MWh. According to the latest data, there are 3983 turbines in a total of 273 active power plants, and the electricity produced from these power plants is approximately 30,900 GWh (TWEA, 2022).

Since offshore wind farm location selection is a long-term investment, this problem should be considered a strategic multicriteria decision-making problem since the selection criteria conflict with each other (Deveci et al.2021). Using GIS-based models to solve the offshore wind farm problem can solve the problems related to sea area demands. While the profitability of the investment can be maximized, the negative effects of the power plant can be minimized (Kim et al. 2016). In the literature, there are various studies that make site selection analyses using MCDM methods for both inland and offshore areas. Table 1 shows the MCDM methods and working areas used for wind energy site selection. Accordingly, in wind energy site selection, such as Best–Worst Method (BWM), Analytic Hierarchy Process (AHP), and Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS), various MCDM meth-

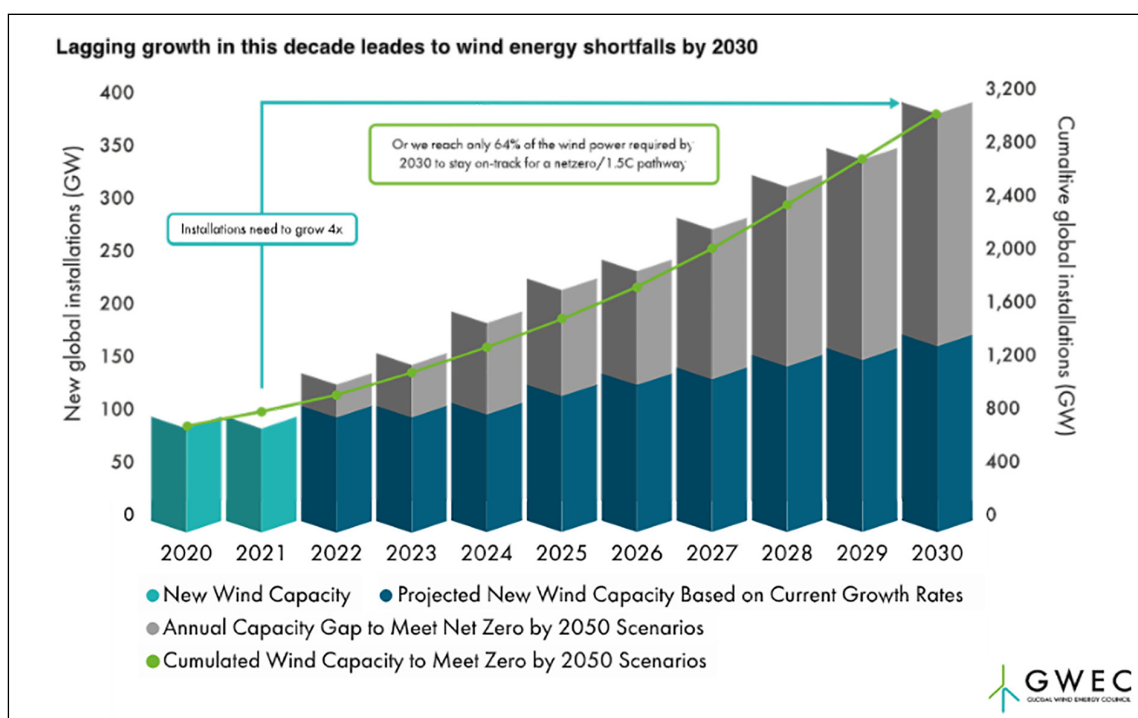


Figure 1. Installed power scenarios of wind power plants in the world till 2030 (GWEC,2022)

ods have been used. Among the MCDM methods used, the AHP methodology was used the most. The AHP method uses pairwise comparison matrices and synthesizes the judgments given by the experts.

Moreover, such methods have been used with other MCDM methods such as TOPSIS, PROMETHEE, and ELECTRE III (Roy, 1978; Brans et al., 1984; Hwang & Yoon, 1981). Various techniques have been used for MCDM in offshore site selection problems. Gil-Garcia et al. Fuzzy-AHP method is integrated with GIS to select the most suitable wind farm located in the Gulf of Maine and its surroundings in the USA. Likewise, Taoufik and Fekri used the Fuzzy-AHP method integrated with GIS and searched for suitable places for a wind power plant on the coast of Morocco. Salvador et al. In this study, by using the Bayes-BWM method, which is the method in this study, suitable locations for a wind power plant on the coast of Australia were investigated.

There are studies on various MCDM methods in Turkey (Özşahin & Kaymaz, 2013; Akalın, 2018; Genç et al., 2021; Caceoğlu et al., 2021). However, these studies generally remained within the framework of a conclusion evaluated within the authors' knowledge and drawn accordingly. In addition, the issue of site selection has not typically been addressed from a geographical perspective.

This study aims to conclude by taking experts' opinions from different fields (geography, geology, disaster science, renewable energy, GIS modeling, etc.) for OWF's location selection. It includes a Bayesian BWM and GIS-based integrated model for OWFs location selection. Bayesian Network (BN) makes comparisons under uncertainty and is a mathematical model with significant pros for modeling qualitative and quantitative variables (Salvador et al., 2022). It has also been used to solve decision-making problems (Bhandari et al., 2015; Yazdi, 2019; Pui et al., 2017, 2016; Carriger et al., 2019). Site selection problem with BN has been handled in various fields such as logistics, security, communication, border security, and traffic

regulation (Nedjati et al., 2017; Yazdi et al., 2019b; Lessin et al., 2018; Kim & O'Kelly, 2009; Gonzalez et al., 2019). Within the scope of the study, its integration with BWM and GIS, and the comprehensive evaluation of the criteria determined by the literature and the field of study, including experts in different areas, is considered an innovation. In addition, thanks to the Bayesian BWM, which is used in the weighting of the criteria which has an impact on the selection of the location, it is possible to make more consistent evaluations with less data and to aggregate the assessment of more than one expert with a probabilistic perspective (Mohammadi and Rezaei, 2020; Rezaei, 2015).

2. Materials and methods

2.1. Study Area

The study area consists of the Marmara Sea, Turkey's 4th largest sea and an inland sea, and the North Aegean Coasts (Fig. 2). The Sea of Marmara within the study area is located between latitudes 40°- 20' and 41°- 10' and longitudes 27° and 29°- 30'. The Sea of Marmara is connected to the Aegean by the Dardanelles and the Black Sea by the Bosphorus. The widest part of the sea in the north-south direction is 80 km, and the longest in the east-west direction is 280 km. Its area is 11,352 square kilometers. In addition, the Sea of Marmara is an internationally important waterway due to the straits.

There are important islands and peninsulas in the Marmara Sea. The Armutlu and Kapıdağ peninsulas are two significant peninsulas, and the Izmit, Gemlik, Bandırma, and Erdek gulfs on both sides constitute the most important natural harbors. The Sea of Marmara can be morphologically divided into two in the east-west direction. These are the deep part with pits at a depth of about 1335 meters in the north and the shallow part with a depth of 100 meters in the south. Especially areas with deep holes are not suitable for installing wind panels. These two parts are separated along the line of Armutlu Peninsula and Marmara Island. The largest island in the Sea of Marmara is Marmara Island. There are also the Avşa archipelagos (Ekinlik Island, Avşa Island, Paşalimanı Island, etc.) and

Table 1. Summary of studies combining GIS/MCDM methods and fuzzy logic in the selection of suitable locations for wind energy sources.

Author(s)	Study area	Year	MCDM Methods
Lee, 2010	Taiwan	2010	AHP
Özşahin and Kaymaz, 2013	Turkey	2013	AHP
Fetanat et al., 2015	Iran	2015	AHP
Sánchez-Lozano et al., 2016	Spain	2016	TOPSIS- AHP
Wu et al., 2016	China	2016	ELECTRE
Sajid et al., 2017	S. Korea	2017	AHP
Pamuar et al., 2017	Serbia	2017	MAIRCA- BWM
Vasileioua et al., 2017	Greece	2017	AHP
Lotfi et al. 2018	Iran	2018	TOPSIS
Uzar and Ener, 2019	Turkey	2019	AHP
Deveci et al. 2020	Turkey	2020	TOPSIS
Reza et al. 2020	Iran	2020	ANP-VIKOR
Taoufik and Fekri, 2021	Morocco	2021	Fuzzy-AHP
Caceoğlu et al., 2021	Turkey	2021	AHP
Salvador et al., 2022	Australia	2022	Bayesian-BWM
Sánchez-Lozano et al., 2022	USA	2022	TOPSIS- AHP

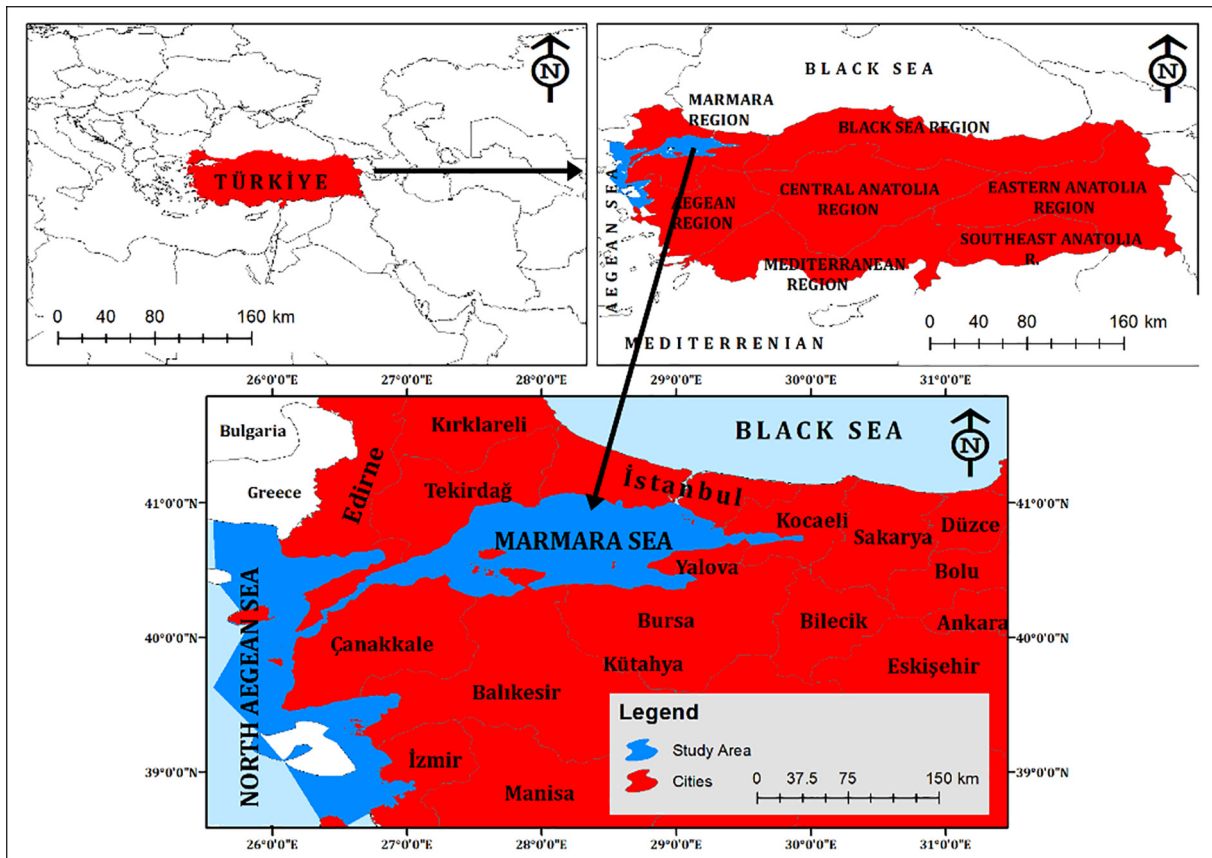


Figure 2. Study area location map.

Prince archipelagos (Büyük, Kınalı, Heybeliada and Burgaz) (Barka & Kadinsky-Cade, 1988) Especially the coastal areas close to the islands create a significant potential for wind panel installation. Islands located on the shores of the Marmara Sea and the North Aegean Sea are an advantage for wind farm installation.

The Sea of Marmara and its surroundings have a temperate climate, and four seasons are experienced in the region. The speed of the currents in the Sea of Marmara varies between 750 and 2.5 km per hour (21-70 cm/s). The speed of the tides in the Sea of Marmara is also too small to be noticed. On the other hand, because of the strong winds pushing the water, there are some level changes on the north and south coasts. Especially Lodos, Kible and Keşişleme winds contribute to these level changes (Barka & Kadinsky-Cade, 1988). These local winds in the study area are also very important for Wind Power Plants. Areas with intense winds will be suitable for wind panel installation.

The coasts of the North Aegean Sea within the study area start from the north of İzmir and extend to Greece in the north. The study area was determined as the areas close to the Turkish coasts, but the Exclusive Economic Zone (EEZ) boundaries were not considered (Fig. 2).

The Aegean Sea, which was a land mass in the Pliocene period, took its present appearance with the formation of uplifts, collapses, and faulting due to tectonism in specific periods (Atalay, 1982). The area covered by the Aegean Sea is mostly shallower than 600 meters. The Aegean Sea has a north-south length of 660 km, while its east-west width is 270 km in the north, 150 km in the middle, and 400 km in the south. The

Aegean Sea is between the Mediterranean, which has tropical and mid-latitude climate characteristics, and Europe and the Black Sea, which has temperate and cold climate characteristics. Etesian winds blow in the North Aegean Sea and its coasts during summer. Bora-type winds influence the region in the autumn and winter (Oran, 1994). These winds, effective both in summer and winter in the working area, are very important for wind panels and are the most significant factor in increasing efficiency.

The study area constitutes the areas with the highest wind speed on the Turkish coasts (URL-2). The continental shelf is comprehensive in many coastal regions, with many islands. The places where the continental area is large, and the island coasts are suitable for wind panels (Fetanat and Khorasaninejad, 2015; Caceoğlu et al., 2022; Salvador et al., 2022). In addition, when the vicinity of the study area is evaluated in terms of population, it has a large population. The size of the population also increases the energy supply. It is necessary to create alternative energy sources to meet the energy demand in the region (Havan, 2017). An OWF to be established on the North Aegean coasts and the Marmara Sea is vital for diversifying energy resources. Therefore, this region was chosen as the study area. Finally, the Dardanelles Strait, where wind power plant installation will not be possible, has been included in the study area to ensure the integrity of the study area.

3. Research Methodology and Data

The primary purpose of this study is to find suitable places for OWFs. In this context, the Bayesian best-worst method, one of the multi-criteria decision-making methods (MCDM), has been used by integrating it into GIS.

3.1. Bayesian Best-Worst Method

BWM is widely used because it uses less data than methods such as AHP, and because it has two vectors, it allows for consistency calculation (Rezaei, 2015; 2016). Although BWM has many advantages, it cannot solve group MCDM problems. Due to the uncertainty and complexity of real-world issues, more than one decision-maker is often needed. To eliminate this limitation, Bayesian BWM has been proposed (Mohammadi & Rezaei, 2020). Bayesian BWM only needs integers like traditional BWM. These are pairwise comparison matrices. These matrices are modeled using the multinomial distribution. The outputs of Bayesian BWM are final weights containing the evaluations of all decision-makers and credal graphs showing the superiority level of the criteria. The Bayesian BWM solution has four steps (Mohammadi & Rezaei, 2020; Munim et al. 2022; Gul & Yucesan 2022; Saner et al. 2022).

Step 1: Determine the criteria to be evaluated.

At this stage, the main and sub-criteria to be evaluated are determined in line with the literature research and the opinions of expert groups.

Step 2: Determination of the Best and Worst criteria.

Based on the hierarchy determined at this stage, the Best (Most important, most desirable) and Worst (least important, least desirable) criteria are determined.

Step 3: Creating the best-to-others and others-to-worst vectors.

The best criterion determined in the previous step is compared with the other criteria. A scale of 1-9 is used for comparisons. One indicates that the two criteria are equally important, and nine indicates that the best criterion is more important than the compared criterion. With these comparisons, the Best-to-others vector is obtained $A_B^k = (a_{B1}^k, a_{B2}^k, \dots, a_{Bn}^k), A_W^k, k = 1, 2, \dots, K$.

Similarly, the worst criterion is compared with the other criteria, and the Others-to-worst vector is obtained $(a_{1W}^k, a_{2W}^k, \dots, a_{nW}^k)^T, k = 1, 2, \dots, K$.

Step 4: Determination of aggregated final weights and credal ranking

At this stage, thanks to the multinomial and Dirichlet distribution presented, final weights and credal graphs are obtained. Credal ranking graphs show at which confidence level the criteria are superior to each other. The JASGs and MATLAB codes required for the solution were taken from (URL-1) and adapted to the study.

3.2. GIS Method

The study identified ten experts from different disciplines (geography, geology, disaster science, renewable energy, GIS modeling, etc.) to evaluate the questionnaires. Afterward, 17 criteria were determined under four main headings (technical, socio-economic, environment, and location). Detailed information about the criteria (scale, data type, etc.) is given in Table 2 in detail. These criteria were chosen considering the study area characteristics and the relevant literature. In line with the determined criteria, a questionnaire was prepared by the best-worst method. The questionnaire was used to find the weight values of each criterion in line with the experts' opinions.

Each criterion used in the study should be adequately transferred to the GIS environment. For example, the criteria such as wind speed, water depth, pipe, and cable line below the technical main criteria should be both suitable for the work area and their classification should be done correctly. Therefore, all the criteria prepared were cut according to the study area and their classification was made by considering their values. On the other hand, the weight values within themselves must also be calculated to use the criteria, cut and classified according to the study area in the Weight Sum analysis. For example, wind speed data is divided into six classes. Each class of this criterion, divided into six classes, should be weighted according to the degree of importance. For this purpose, a questionnaire by the best-worst method was prepared for each criterion, and each criterion's weight values were calculated using these questionnaires. While the weight values of the criteria were found according to the determined classes, they were calculated according to the procedure suggested by Rezaei (2015). The data whose weight values were calculated were finally reclassified according to their weight values using the "Reclassify" method and made ready for analysis. Weight Sum analysis was applied using these weight values and the general weight values filled and found by the experts.

3.2.1. Selection of the criteria

It is a very important issue that the power plants to be established for solar, wind, or wave energy in any place should be installed in suitable areas. For this reason, there are many studies conducted with MCDM and GIS aiming to find suitable locations for solar, wind, or wave power plant installation (Caceoglu et al., 2022; Taoufik & Fekri, 2021; Castro-Santos et al., 2020; Satir et al., 2018; Aydın et al., 2013; Tercan, 2021; Vasileiou et al., 2017; Castro-Santos et al., 2020). In these studies, various criteria (wind speed, wind power density, pipe, cable lines, etc.) were used to find the installation of power plants in suitable places. This study aims to find appropriate locations for OWFs. For this purpose, 17 criteria have been determined under four main criteria. These, within the technical main criterion, wind speed, water depth, pipe, cable line, capacity factor distribution and submarine geomorphology. Within the socio-economic main criterion, tourism density, beach areas and sea traffic, within the environment main criterion, sea sunken areas, bird migration routes, visual impact and seismicity, within the location main criterion, distance to power lines, distance to ports, distance to coastline, distance to islands and distance to airports (Fig. 3). While selecting these criteria, the literature on the subject was examined in detail, and the physical and human characteristics of the study area were considered. Among the many criteria used in the literature, the criteria deemed appropriate by the authors were selected according to the features of the study area.

Technical main criteria (wind speed, water depth, pipe and cable line, capacity factor distribution and submarine geomorphology) are explained in detail according to their situation in the study area and depending on the literature:

Wind Speed (A1): Wind speed is one of the most critical criteria used in OWF studies and has a high weight value. The wind speed criterion was the primary criterion in almost all the studies examined (Van-Haaren & Fthenakis, 2011; Özşahin &

Table 2. Offshore criteria and their classes, source, type, and resolution.

Main Classification	Criteria	Data Source	Data Type	Resolution (Scale)
Technical	Wind speed	Global Wind Atlas, 2022	Grid	100 m
	Water depth	GEBCO, 2022	Grid	30 m
	Pipe and cable line	Interagency Ocean Observation Committee (IOOC), 2022; BOTAS, 2022	Shapefile - Line	1:100,000
	Capacity factor distribution	Global Wind Atlas, 2022	Grid	100 m
	Submarine geomorphology	GEBCO, 2022	Grid	30 m
Socio-economic	Tourism density and beach areas	OpenStreetMap, 2022	Shapefile - Polygon	1:100,000
	Cost	OpenStreetMap, 2022	Shapefile - Line	1:100,000
	Sea traffic	Marine Traffic, 2022	Shapefile - Line	1:100,000
Environment	Sea sunken areas	Akkoç, 2013	Shapefile - Point	1:25,000
	Bird migration routes	Kiziroğlu and Erdogan, 2015	Shapefile - Line	1:100,000
	Visual impact	Authors created it based on coastal distance.	Shapefile - Line	1:100,000
	Seismicity	MTA, 2022	Shapefile - Line	1:100,000
Location	Distance to power lines	OpenStreetMap, 2022	Shapefile - Line	1:50,000
	Distance to ports	OpenStreetMap, 2022	Shapefile - Point	1:25,000
	Distance to coastline	OpenStreetMap, 2022	Shapefile - Line	1:100,000
	Distance to islands	OpenStreetMap, 2022	Shapefile - Point	1:100,000
	Distance to airports	OpenStreetMap, 2022	Shapefile - Point	1:25,000

Kaymaz, 2013; Höfer et al., 2016; Ayodele et al., 2018; Shorabeh et al., 2021). Wind speed directly affects the workability of the power plant. The energy produced from wind power plants is directly proportional to the cube of the wind speed. According to this ratio, while the wind speed increases the efficiency by 150% in terrestrial areas, it increases by 40% in the open seas due to the stability of the wind speed (Caceoğlu et al., 2022). The minimum wind speed required for wind farms differs in most studies. For instance, Gorsevski et al. (2013) reported wind speed from zero to 7.5 m/s, Ali et al. (2019) minimum 4 m/s for wind farms in different locations, Shorabeh et al. (2022) values of 5 m/s for large wind farms and 4 m/s and less for small wind farms, Saraswat et al. (2021) determined wind speeds between 5-6 m/s as suitable areas. In addition, wind speeds above 15 m/s can cause damage to wind turbines (Taoufik & Fekri, 2021). Finally, recent developments in wind power plants show that large turbines with 87–100 m hub height and 8–10 MW capacity will be preferred soon (Caceoğlu et al., 2022). Wind speeds in the study area range from 6 to 9.5 m/s on average (Fig. 4-A1). In this study, the wind speed at 100 m was used and the areas with a minimum wind speed of 7 to 9 m/s were determined as suitable areas.

Water Depth (A2): Water depth is an important criterion as it directly affects the type and cost of the wind farm to be built. It is also frequently used in OWF studies (Murali et al., 2014; Vasileiou et al., 2017; Deveci et al., 2020). In the studies, it was stated that 50 m or less depths would be suitable for wind farm installation, while it was noted that the power plant could be installed at water depths varying between 50 and 100 m (Taoufik & Fekri, 2021). Another study stated that power plants built at water depths exceeding 75 m would be difficult to construct, and the cost will increase (Murali et al., 2014). In many parts of the study area shores, the first 50 m of the shoreline is very narrow. After a few kilometers, depths of 50 m can be reached. Between 50 and 100 m is a large area. After 100 m, the slope increases after the depth, and the depths can change in short distances (Fig. 4-A2). Therefore, the coasts of the study area with a depth of 75 to 100 m have been determined as the priority areas.

Another important issue regarding water depth for OWFs is landslides under the sea. High seafloor slopes can cause submarine landslides. It is known that seafloor landslides occur in many parts of the Marmara Sea (Sivri, 2013). In addition, in steep places where the sea depth increases, it is difficult for

Technical	Socio-economic	Environment	Location
<ul style="list-style-type: none"> • Wind speed • Water depth • Pipe and cable line • Capacity factor distribution • Submarine geomorphology 	<ul style="list-style-type: none"> • Tourism density and beach areas • Cost • Sea traffic 	<ul style="list-style-type: none"> • Sea sunken areas • Bird migration routes • Visual impact • Seismicity 	<ul style="list-style-type: none"> • Distance to power lines • Distance to ports • Distance to coastline • Distance to islands • Distance to airports

Figure 3. Criteria for site selection of offshore wind farms (OWFs).

the power plant to anchor to the seabed. Considering these criteria in the study, the experts who filled out the questionnaire were given the necessary information.

Pipelines and Cables in the Seabed (A3): Pipe and cable lines under the sea are vital due to factors such as wind farms' effect on fixing the seabed and the difficulties during installation, and the difficulty of energy transfer. Submarine cable lines start from the North Aegean coast within the study area, pass through the Çannakkale Strait, and then through the Sea of Marmara and the Bosphorus. Pipelines (natural gas) pass through the Marmara Sea (Fig. 4-A3). In addition, there are telecommunication cables around the Sea of Marmara and the Bosphorus. However, these cables could not be transferred to the map. Therefore, such small cable lines could not be used in the study. Buffer analysis determined the distances to the pipes and cable lines selected in the study. Accordingly, 100 m perimeter of pipe and cable lines were defined as unsuitable areas and low weight values were given to these areas.

Capacity Factor Distribution (A4): Capacity factor distribution is an important criterion in wind power plants built at sea or on land. The capacity factor is the expected wind power generation ratio to the wind power at the wind turbine's rated power over a given time (Siyal et al. 2015). The capacity factor is one of the most influential parameters showing the wind energy generator's electricity generation efficiency and directly impacts the electricity cost. It is an indicator of the economic viability of a wind energy project (Nedaei et al., 2014). The capacity factor value of today's wind turbines is up to 50%. The approach of the capacity factor to the ideal weight means an increase in energy production (Tortumluoğlu & Doğan, 2021). For a wind turbine or

a wind farm, a capacity factor of 20-40% is ideal (Snyder & Kaiser, 2009). According to the average capacity factor distribution determined by the General Directorate of Renewable Energy in the study area, the capacity factor distribution of especially the North Aegean coasts (around Çanakkale - Bozcaada) is between 50-60%. Around the Marmara Sea, this rate is around 25-40%¹ (Fig. 4-A4). Accordingly, the study area and its surroundings provide ideal conditions for capacity factor distribution. A wind farm to be established is likely to provide sufficient efficiency.

Submarine Geomorphology (A5): Submarine geomorphology is very important in determining the seafloor's diversity, the seabed topography's movements, and scanning the area for power plant installation. High-risk events such as slope fractures, landslides, underwater cave collapses, and collapses that may occur under the sea can cause severe damage to the turbines. Ground scans and extensive geotechnical analysis are required for reliable turbine foundations. The study area and its surroundings (especially the Sea of Marmara) have unique and complex features and active tectonics. The North Anatolian Fault Line is one of the most influential factors forming the study area. The shelf area covers about half of the Marmara Sea and is quite wide in the south and southwest. It narrows entirely in front of the Ganos and Samanlı mountains. Near Uçmakdere, the coast completely disappears to the west of Tekirdağ, and the shelf area in front of the sea almost disappears. In addition, there are deep depression areas and many sea valleys in the Marmara Sea (Akyüz, 2007). On the other hand, the North Aegean Coasts of the study area were selected especially close to the coast and the continental shelf is wide, although the depths increase in some places in these areas (Fig. 4-A5). A wide continental shelf is very important for OWFs.

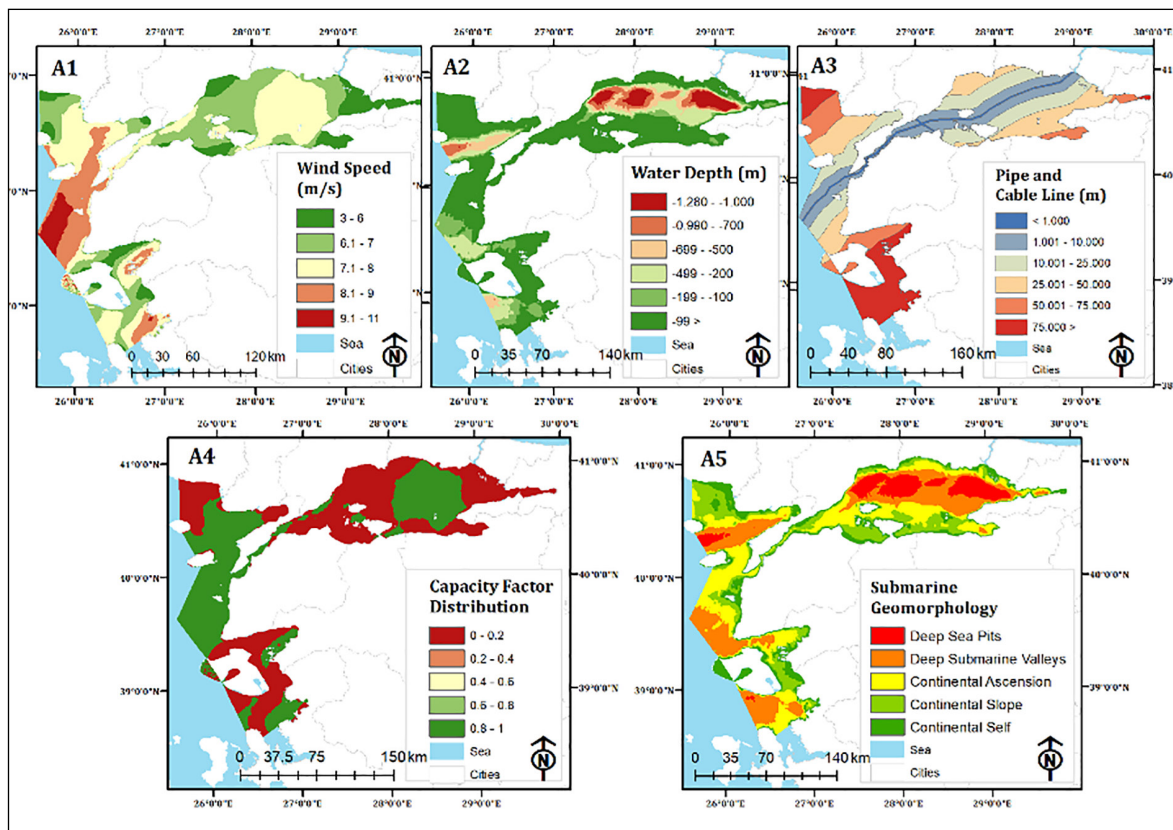


Figure 4. Technical criteria for offshore wind farm site selection: Wind speed (A1), Water depth (A2), Pipelines and cables in the seabed (A3), Capacity factor distribution (A4) and Submarine geomorphology (A5).

² These values have been prepared by considering the technical values of a 3 MW wind turbine.

Socio-economic main criteria (tourism density, beach areas and sea traffic) are explained in detail according to their situation in the study area and depending on the literature:

Tourism Density and Beach Areas (B1): Tourism Density Beach Areas: Tourist attractions may be affected by wind turbines in some cases. These touristic activities on the coasts are beach areas, yacht and daily boat tours, and diving activities. Especially wind power plants established on the shores where such tourism activities occur can negatively affect tourist attractiveness due to visual and noise pollution. According to their studies on tourists, Lilley et al. (2010) stated that they can be adversely affected by a wind farm being established in the open sea in any touristic destination area. In the same study, considering that the avoidance effect decreases with distance from the shore, it was concluded that this result would be reduced by placing offshore wind turbines further away from the sea. In this study, coastal areas with intense tourism were determined and distance analysis (buffer) was applied (Fig. 5-B1). Accordingly, low weight values are given to coastal areas close to tourism areas.

Cost to Install OWFs (B2): The depth of the water, the distance to the shore, the rugged submarine geomorphology, the length of the cable for electricity transmission, the high wave height and speed (more robust structures need to be made, which increases the cost) are the factors that increase the installation cost of OWFs (Caceoğlu et al., 2022; Gil-García et al., 2022; Taoufik & Fekri, 2021). As you move away from the coast, the sea's depth increases and the underwater topography becomes more complex. In addition, the farther from the shore, the longer the cable line for electricity transmission

will increase. Therefore, OWFs should be installed close to the coasts, in areas with low depth and where possible underwater topography is suitable.

In this study, to create the cost map of the study area, the criteria (water depth, distance to the shore, etc.) that affect the cost were determined in the literature. The weight values of these criteria need to be determined. For this, the authors created a BWM questionnaire, and the weight values of each criterion were found. Finding weight values and criteria were reclassified within themselves using ArcGIS software. As a result, these criteria overlapped with the Weight Sum analysis method and the areas where the high cost was found. The study used this map as a cost map (Fig. 5-B2).

Sea Traffic (B3): Ship traffic is an essential issue for OWFs. OWFs can be dangerous to install in areas with heavy ship traffic. Turkey acts as a bridge between Asia and Europe. The only way for a ship departing from the Black Sea to sail to the Aegean and Mediterranean Seas and from there to the world is to use the Bosphorus and Dardanelles (this is also true vice versa). Therefore, the ship traffic between north and south and east and west is intense (Marine Traffic, 2022). Due to the intensity experienced in the Straits, the Republic of Turkey has determined the passageways to the characteristics of the ships (length, load, etc.) by bringing a series of rules for the safe and regular flow of ship traffic (Turkish Straits Marine Traffic Regulation, 2019). Consideration of these ship routes is essential for the installation of OWFs. The study applied a buffer analysis considering the ship routes in the study area (Fig. 5-B3). Low weight values are given to areas close to shipways.

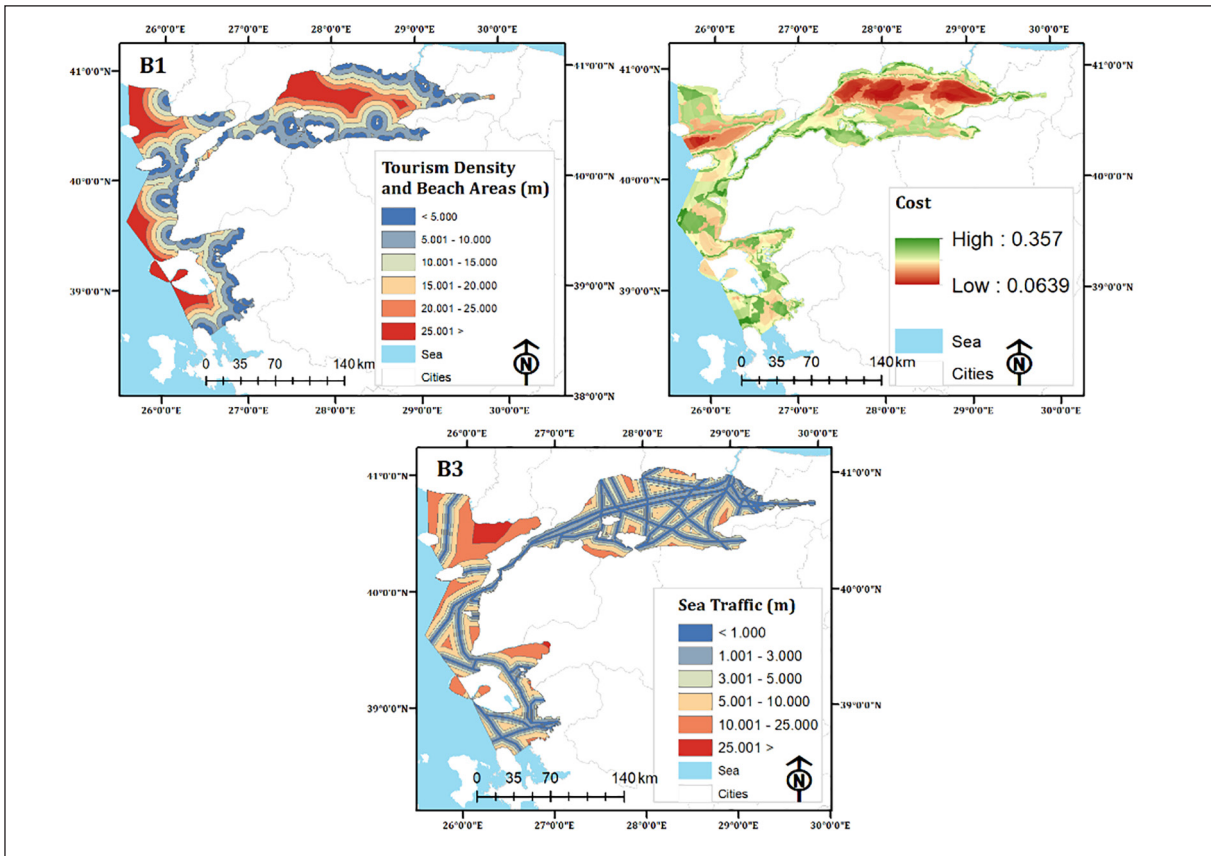


Figure 5. Sosyo-economic criteria for offshore wind farm site selection: Tourism density and beach areas (B1), Cost (B2) and Sea traffic (B3).

Environment main criteria (underwater wrecks, bird migration routes, visual impact, and seismicity) are explained in detail according to their situation in the study area and depending on the literature:

Underwater Wrecks (C1): Underwater Wrecks have an important historical value and are frequently used in underwater diving tourism. In addition, vehicles such as old planes and tanks are sunk in the name of diving tourism development. This underwater debris can sometimes be found near the shore. This may affect the site selection of OWFs. Therefore, this criterion was considered important and added to the study. Within the scope of the study, each wreck was determined, and buffer analysis was applied to determine the distances to these wrecks (Fig. 6-C1).

Bird Migration Routes (C2): The effect of birds on OWFs is quite limited, according to the literature. However, birds can physically strike turbines' wind blades, towers, engine rooms or related infrastructure elements. This can partially damage the turbines (Moriguchi et al.2019). The important thing here is the lives of the wildlife, namely the birds. Turbines installed on bird migration routes can harm the lives of birds. For this reason, this issue is important in the turbine installation site selection and has been added as a criterion to the study.

Due to its location, Turkey is on bird migration routes that migrate in both north-south and east-west directions. In particular, the study area is located on the migration routes of many birds that periodically migrate from Europe to Africa or Africa to Europe (Kiziroğlu & Erdogan, 2015; Bird Map, 2022). The study applied a buffer analysis considering the bird migration

routes passing through the study area (Fig. 6-C2). These regions are restricted by giving low weight values to the areas close to the bird migration routes.

Visual Effect (C3): Wind farms near shore or tourist destinations can be problematic for locals and tourists. Ladenburg (2009) found that whether the public has positive thoughts about the existing wind turbines and the proximity of the turbines to the coastal areas is related. On the other hand, it has been stated that wind turbines close to the coasts will be a focus of attention (Sullivan et al., 2013). Considering these issues, buffer analysis was applied by giving high weight values to places with a certain distance to touristic places and coasts (approximately 15-20 km) (Fig. 6-C3).

Seismicity (C4): Wind turbines and turbine infrastructures (cable, concrete block, transformer station, etc.) can be damaged directly due to the shaking caused by the earthquake or as an indirect effect of the earthquake, because of liquefaction, landslides and tsunamis (Genç et al., 2021; Caceoğlu et al., 2022). The presence of intense fault lines in Turkey increases the potential for earthquakes. Since 1900, 19 earthquakes of magnitude 7.0 have occurred (BOUN KOERI Regional Earthquake-Tsunami Monitoring Center, 2022). In particular, the North Anatolian Fault line, Turkey's most important fault line, passes through the northern and southern borders of the study area. A buffer analysis was applied to the study area using the fault lines data produced by the General Directorate of Mineral Research and Exploration (MTA). According to the analysis results, the distances close to the fault lines are limited by giving low weight values (Fig. 6-C4).

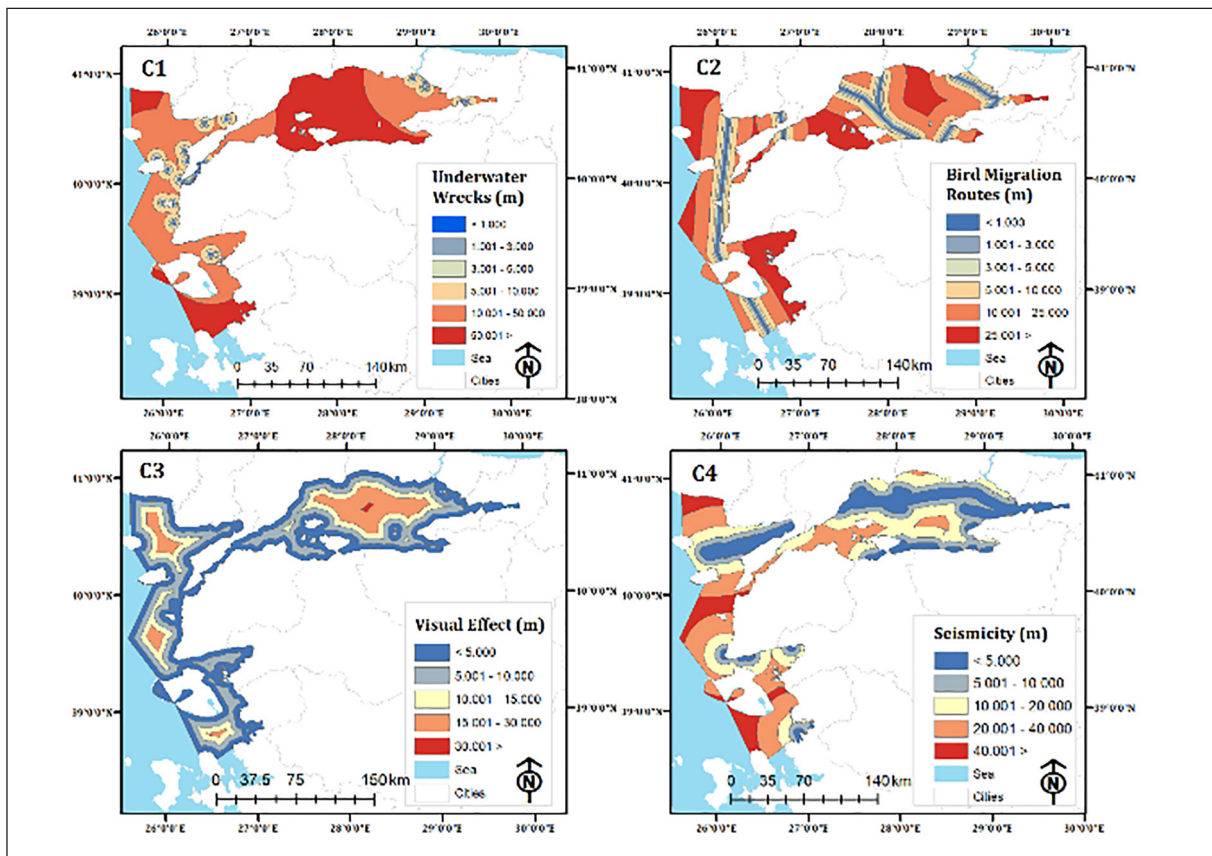


Figure 6. Environment criteria for offshore wind farm site selection: Underwater wrecks (C1), Bird migration routes (C2), Visual effect (C3) and Seismicity (C4).

Location main criteria (Distance to power lines, distance to ports, distance to the coastline, distance to islands, distance to airports) are explained in detail according to their situation in the study area and depending on the literature:

Distance to Power Lines (D1): The electricity produced from wind power plants must be transmitted to the nearest power lines and areas with energy demand. The cost of laying electrical transmission cables from wind farms to coastal areas increases tremendously as the distance to the shore increases (Kim et al., 2018). Therefore, it is very important to know the exact location of the substations for the economic feasibility analysis. High-voltage power lines located in the coastal area of the study area have been identified. Buffer analysis was applied to these lines within the scope of the study, and the distances in the open sea were determined. Weights suitable for the criteria were given according to the results of this analysis (Fig. 7-D1).

Distance to the Coast and Ports (D2,3): The distance to the shore and ports is an important criterion in the OWF installation. Pay attention to the distance to the coast to supply the necessary construction materials during the installation and transfer the electrical energy produced. The cost may increase as the distance to the shore increases. Accordingly, regions close to the coast are more advantageous for OWF installation. The study classified these regions from near to far by giving higher weight values (Fig. 7-D2-3).

Distance to Islands (D4): Important islands (Bozcaada, Gökçeada, Avşa island, etc.) settled around the study area. Especially Bozcaada and Gökçeada surroundings are places

where wind speed is very high. So, OWF installation around the Island can be important in supply and electricity transmission and use. All island regions in the study area were determined, and distances to these islands were calculated. A gradual classification was made towards distant parts by giving high-weight values to areas close to the islands (Fig. 7-D4).

Distance to Airports (D5): Sounds emanating from the wind blades of offshore wind farms in the take-off and landing areas of aircraft may disrupt the communication signals of the plane, depending on the landing and take-off times. Offshore wind farms need to be 3 km away from airports (Pantaleo et al., 2005). So, a buffer analysis was applied by determining the airports and aircraft routes near the study area. Accordingly, classification was made from near to far, and the necessary weight values were given (Fig. 7-D5).

4. Application Study and Results

The Bayesian BWM method was used to determine the criterion weights. First, the criteria weights were evaluated by experts. Criteria selections were made according to the characteristics of the specialist and the field of study. Considering the hierarchy of criteria, vectors from best to worst and from others to the worst were transferred to the MATLAB program, and aggregated final weight values were obtained. The weights of the main criteria were multiplied by the weights of the relevant criteria. The global weight values to be transferred to GIS are presented in Table 3. Accreditation charts, another feature of Bayesian BWM, are shown in Figure 8.

Credal ranking graphs express at what level the criterion at the starting point of the arrow is superior to the criterion at

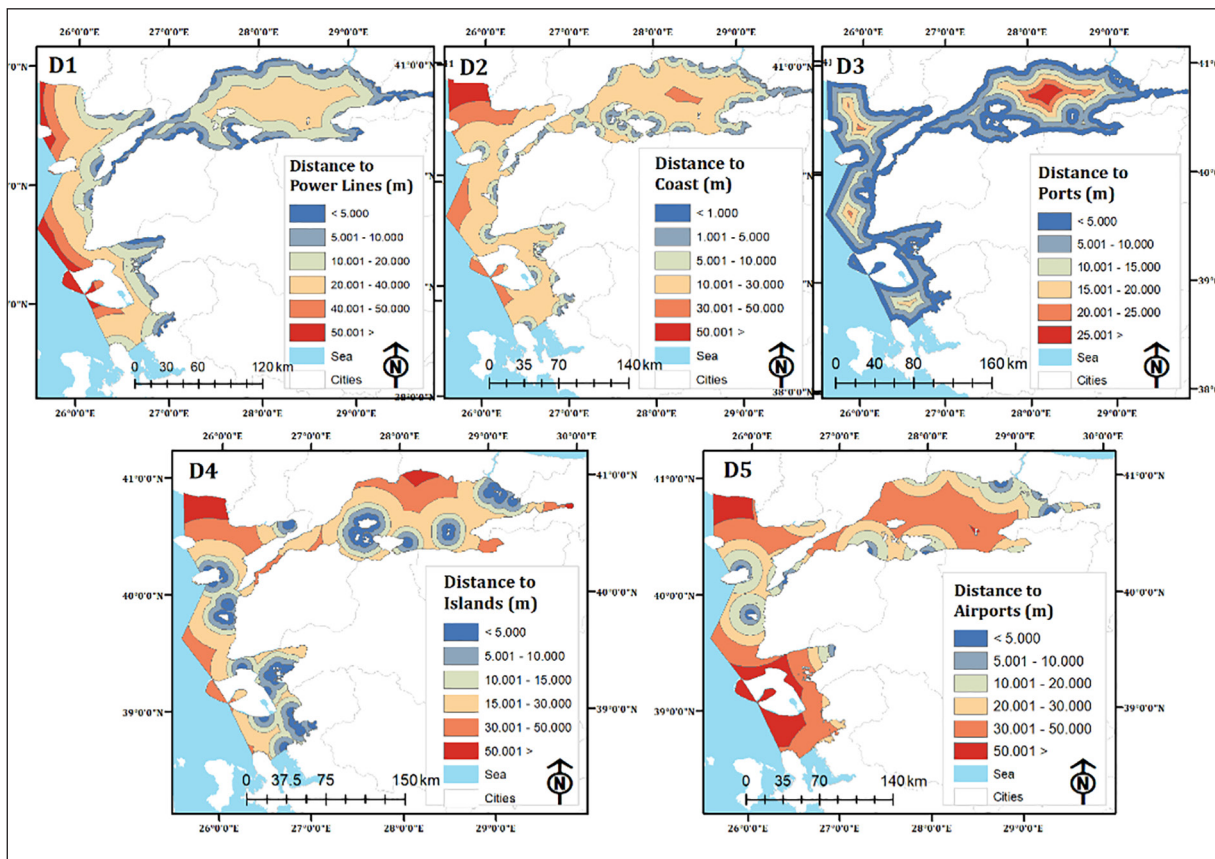


Figure 7. Location criteria for offshore wind farm site selection: Distance to power lines (D1), Distance to coast (D2), Distance to and ports (D3), Distance to islands (D4) and Distance to airports (D5).

Table 3. Weights of the criteria using Bayesian-BWM.

Code	Criteria	Global Weights	Code	Criteria	Global Weights
A1	Wind Speed	0.120	C2	Bird Migration Routes	0.032
A2	Water Depth	0.059	C3	Visual Impact	0.021
A3	Pipe and Cable Line	0.050	C4	Seismicity	0.065
A4	Capacity Factor Distribution	0.111	D1	Distance to Power Lines	0.108
A5	Submarine Geomorphology	0.037	D2	Distance to Ports	0.057
B1	Tourism Density and Beach Areas	0.039	D3	Distance to Coastline	0.058
B2	Cost	0.045	D4	Distance to Islands	0.032
B3	Sea Traffic	0.049	D5	Distance to Airports	0.068
C1	Sea Sunken Areas	0.047			

the point where the arrow reaches. These values can take between 0.5 and 1. If this value is "1", the relevant criterion is superior to the other criterion at 100% confidence level. As this value decreases, the importance level of the two criteria being compared approaches each other.

4.1. Production of a Conformity Map for a Wind Power Plant

The OWFs setup in the workspace is analyzed in five classes, as shown in Figure 8; "extremely suitable", "very suitable", "suitable", "less suitable," and "not suitable". "Extremely suitable" and "very suitable" classes indicate the most suitable areas for a wind farm. These regions constitute approximately 4,030 square meters to 16% of the study area (Table 4). According to the result, the most suitable places for the wind farm correspond to a small place compared to the total size of the study

area. Therefore, it is seen that there are limited areas for wind panel installation in the study area (Fig. 9).

According to the analysis results, the Aegean Sea coasts of the study area have more suitable places for power plant installation. Particularly in the north of the Aegean Sea, the partly northern and southern surroundings of Gökçeada and the southern shores of Enez district, and in the south, the region starting from the offshores of Erenköy and Kumkale on the west side of Çanakkale and up to the surroundings of Bozcaada are among the most suitable areas for power plant installation. Bozcaada's western and southwestern parts also form appropriate areas for power plant installation. Further south, Burhaniye and Ayvalık offshore and İncirlik, Aliğa, and Yenifoça offshore, located on the southern border of the study area, are other important suitable areas for power plant installation (Fig. 9).

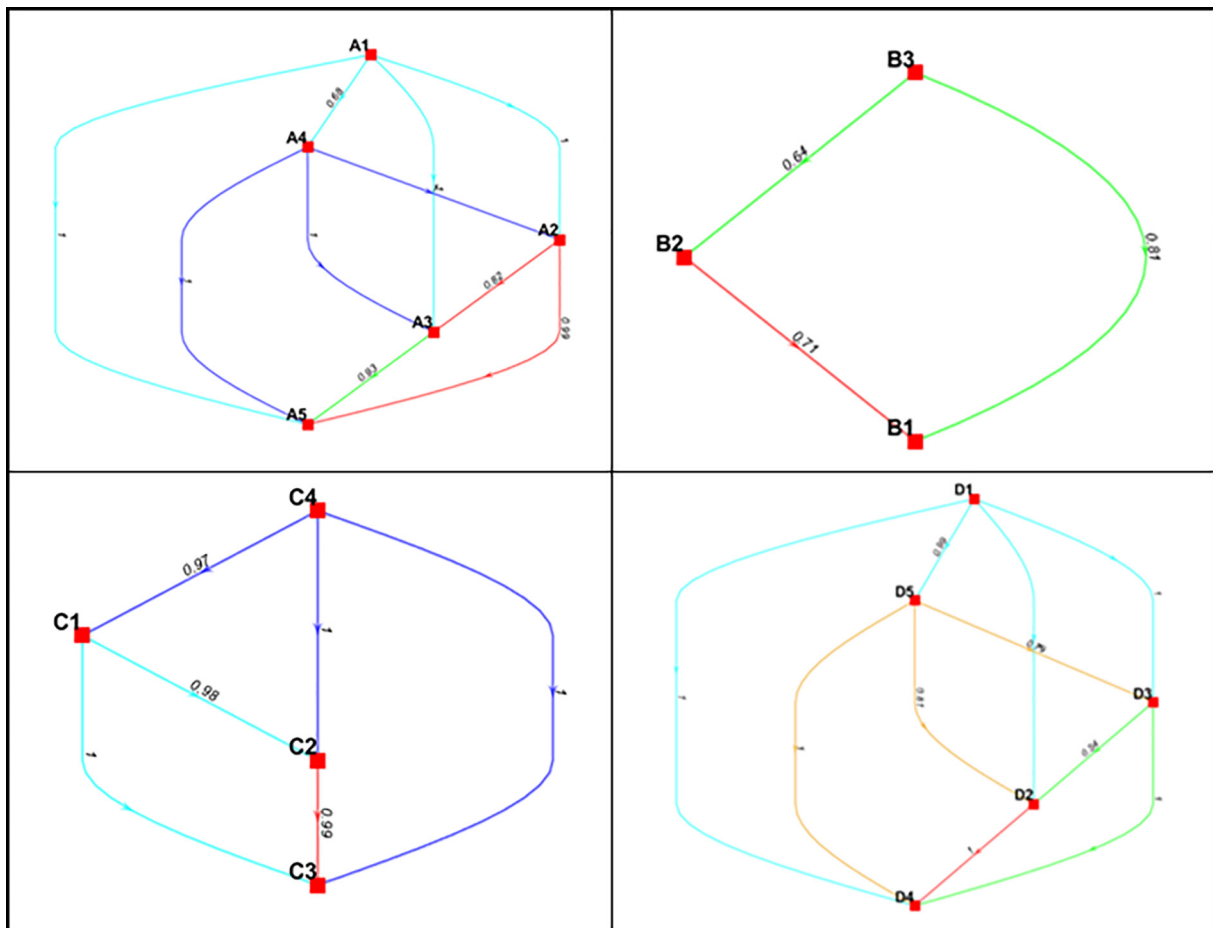


Figure 8. Credal Ranking Graph

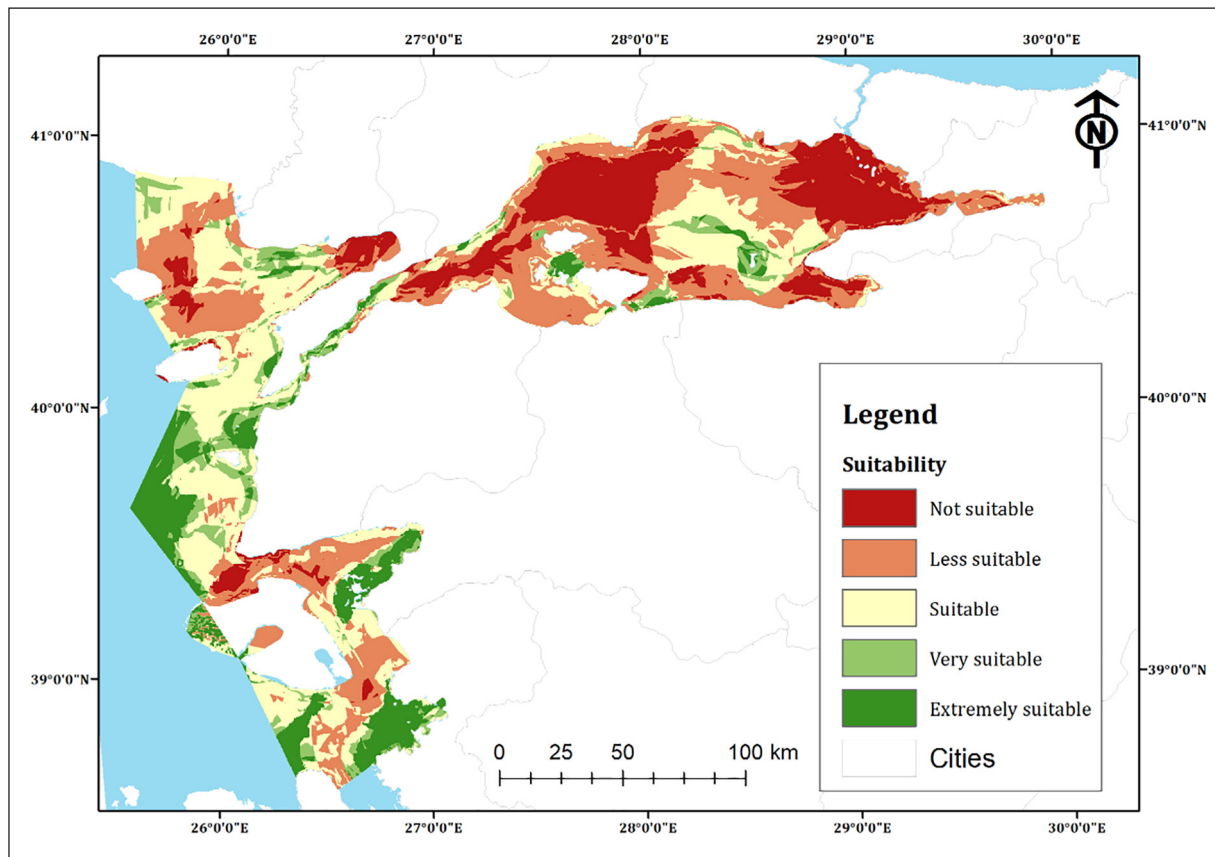


Figure 9. Final suitability map for offshore wind farms in the Sea of Marmara and the North Aegean Coasts.

Table 4. Wind power plant classes and spatial distribution

Suitability Classes	Suitability Values	Area	
		%	km ²
Not Suitable	< 0.19	23.83	5.646
Less Suitable	0.19-0.21	22.61	5.358
Suitable	0.21-0.24	36.53	8.656
Very Suitable	0.24-0.25	6.04	1.433
Extremely Suitable	0.25 >	10.96	2.598
Sum		100	23.693

The North Aegean Sea coast of the study area has approximately 75% more suitable locations for wind farm installation than the appropriate regions. The main reason is the high wind speed and wind capacity factor. In particular, the wind speed criterion came to the forefront as the most important criterion in the weighting results and thus affected the outcome. The northern parts of the Gallipoli Peninsula, the surroundings of Gökçeada, and the region starting from the Çanakkale Strait offshore to Bozcaada (Photo. 1). The western parts of Bozcaada have the highest wind speed values in the study area. The wind speed in the region is up to 9-10 m/s. These values are suitable values for the wind power plant. Therefore, it is true that the coasts of the North Aegean Sea appear as appropriate areas for power plant installation.

According to the analysis results, some regions of the Dardanelles Strait seem suitable for installing wind power plants due to high-weighted criteria such as proximity to the coast, power lines, and city centers (Fig. 9). However, these areas are unsuitable for power plant installation due to narrow and

sea traffic. Therefore, the suitability of these areas should be ignored.

According to the study outputs, many of the Marmara Sea are classified as “unsuitable” and “less suitable” areas. Especially the great Marmara Trench, located near the northern coastal parts of the Marmara Sea and collapsed under the control of a fault, is an unsuitable area for power plant installation. The fact that this region has a lot of depth, the national and international ship traffic is very intense, and it is relatively far from the coast and city centers is effective in this result. On the other hand, Istanbul’s Asian shores, off Gebze and Kocaeli Bay are the least suitable areas for power plant installation. It has been classified as the least right area for installing the power plant due to the high sea traffic, low wind speed and capacity factor value.

According to the study results, the most suitable areas for wind power plant installation in the Marmara Sea are. It is off the northwest of Armutlu, off Bandırma, northwest of Kapıdağ



Photo 1. West offshore of Bozcaada and existing Bozcaada windmills

Peninsula and north of Paşalimanı Island and northwest of Marmara Island. Most of these areas are classified as suitable due to factors such as high wind speed, low sea traffic, low sea depth, proximity to the city center and power lines due to the islands. In addition, starting from the shores of Tekirdağ to the offshore areas of Şarköy are partially suitable. Especially Marmara Island and the surrounding island community are the most suitable areas for a wind power plant. The power plants to be established in these areas must have the opportunity both to meet the needs during the installation phase from the islands and to provide the use of the energy to be produced to the islands or to transmit it through the islands.

According to the study outputs, some remote areas from the coastal regions were suitable areas for OWF installation. Some western parts of the Aegean Sea, shown as “extremely suitable areas” in Figure 9, fall within the area in question. These areas have the highest wind speed, wind capacity factor distribution, and density. Therefore, the fact that these criteria have a high weight value in the study has affected the result in this direction. However, these areas are disadvantageous in terms of cost. It should be considered that the OWF planned to be established here may be costly.

5. Conclusion

This study integrated the Bayesian BWM method with GIS to determine suitable areas for wind power plants. For this purpose, 17 criteria and experts from different disciplines were chosen under four main criteria. Literature review and study area characteristics were considered in determining the criteria. The criteria include wind speed, sea depth, submarine geomorphology, distance to power lines, and seismicity. These criteria were weighted in line with the experts’ opinions. The output of Bayesian BWM was entered into the relevant criterion. The resulting map was created by applying the Weight Sum analysis method, one of the overlay tools in ArcGIS 10.8.

The framework of the study area has been divided into five classes to determine the suitable locations for the wind farm. “Extremely suitable” and “very suitable” classes suit wind power plant installation. The appropriate areas of the results of the conformity map produced in line with the determined criteria have come to the forefront as the areas that are affordable in terms of cost, accessible in terms of supply, high efficiency and partially close to energy consumption centers. As a matter of fact, at the stage of obtaining results, these outputs were compared with both existing resources and the characteristics of the study area, and this conclusion was reached. Therefore, according to the data of this study, these areas constitute ideal areas for wind power plant installation. On the other hand, the regions determined as “suitable” classes have the most significant part in the study area. These areas are not very suitable for cost and efficiency comparison. Finally, “less suitable” and “not suitable” classes are inappropriate for wind power plants.

Although the study contributes to the literature with GIS-based Bayesian-BMW integration, it has some limitations. By adding more criteria to the criteria determined in the study, the study can be enriched, and more precise results can be obtained. There are various types of wind turbines in wind power plants. Such technical information was not included in the study. Researching wind turbine types and getting technical knowledge will help determine the ideal wind turbine for suitable areas. This was another limitation of the study.

Declaration of competing interest:

The authors declare that they have no competing financial interests or personal relationships that affect the work in this article.

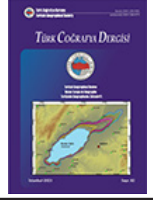
Author contribution: Z.K. contributed to data analysis, drawing of some maps and figures; Z.K., M.Y., M.G. contributed to introduction, application of the method, literature review, interpretation of results and production of figures.

References

- A. Fetanat, A., & Khorasaninejad, E. (2015). A novel hybrid MCDM approach for offshore wind farm site selection: A case study of Iran. *Ocean & Coastal Management*, 109, 17-28. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2015.02.005>
- Adumene, S., Okwu, M., Yazdi, M., Afenyo, M., Islam, R., Orji, C.U., Obeng, F., Goerlandt, F., (2021). Dynamic logistics disruption risk model for offshore supply vessel operations in Arctic waters. *Maritime Transport Research*, 2, 1-20. <https://doi.org/10.1016/j.martra.2021.100039>
- Akalın, S., (2018). *Açık Deniz Rüzgâr Enerjisi Türbinlerinin Kurulum Yeri Seçimi İçin Bir Model Önerisi* [Yüksek Lisans Tezi] Gazi Üniversitesi.
- Akyüz, L. (Ed.) (2007). *Bilimsel açıdan Marmara Denizi*. Türkiye Barolar Birliği
- Atalay, İ. (1982). *Türkiye jeomorfolojisine giriş*. Ege University Social Sciences University Publications.
- Aydin NY, Kentel E. & Sebnem Duzgun H. (2013). GIS-based site selection methodology for hybrid renewable energy systems: a case study from western. *Energy Conversion and Management*, 70, 90–106. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2013.02.004>
- Ayodele, T. R., & Ogunjuyigbe, A. S. O. (2016). Wind energy potential of Vesleskarvet and the feasibility of meeting the South African' s SANAE IV energy demand. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 56, 226-234. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.11.053>
- Ayodele, T.R., Ogunjuyigbe, A.S.O., Odigie, O. & Munda, J.L. (2018). A multicriteria GIS-based model for wind farm site selection using interval type-2. fuzzy analytic hierarchy process: The case study of Nigeria, *Applied Energy*, 228, 1853-1869. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.07.051>
- Barka, A.A., & Kadinsky-Cade, K. (1988). Strike-slip fault geometry in Turkey and its influence on earthquake activity. *Tectonics* 7, 663–684. <https://doi.org/10.1029/TC007i003p00663>
- Bhandari, J., Abbassi, R., Garaniya, V., & Khan, F. (2015). Risk analysis of deepwater drilling operations using Bayesian network. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 38, 11–23. <https://doi.org/10.1016/J.JLP.2015.08.004>
- Bhandari, J., Arzaghi, E., Abbassi, R., Garaniya, V., & Khan, F., (2016). Dynamic risk-based maintenance for offshore processing facility. *Process Saf. Progress*. 35(4), 399–406. <https://doi.org/10.1002/prs.11829>
- BirdLife International BirdLife International (2022 November 30). World database of key biodiversity areas. <https://www.birdlife.org/worldwide/programmes/sites-habitats-ibasandkbas>
- Boru Hatları İle Petrol Taşıma Anonim Şirketi (2022 November 30). BOTAS, <https://www.botas.gov.tr/>
- Brans, J. P., Mareschal, B., & Vincke, P. (1984). In J. Brans (Ed.), Operational research, PROMETHEE: A new family of outranking methods in multicriteria analysis. *Operational Research*, 3, 477–490.
- Caceoğlu, R., Yildiz, Kübra, H., Oğuz, E., Huvaj, N., and Josep, Guerrero, M. (2022). Offshore wind power plant site selection using Analytical Hierarchy Process for Northwest Turkey, *Ocean Engineering*, 252, 111178. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.111178>
- Carlo Bien Salvador, Bien, C., Arzaghi, E., Yazdi, M., Jahromi, A.F, H., & Abbassi, R. (2022). A multicriteria decision-making framework for site selection of offshore wind farms in Australia, *Ocean & Coastal Management*, 224, 106196, <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2022.106196>
- Carriger, J.F., Yee, S.H., Fisher, W.S., (2019). An introduction to Bayesian networks as assessment and decision support tools for managing coral reef ecosystem services. *Ocean & Coastal Management*. 177, 188–199. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.05.008>
- Castro-Santos, L., Lamas-Galdo, M. I., & Filgueira-Vizoso, A. (2020). Managing the oceans: Site selection of a floating offshore wind farm based on GIS spatial analysis. *Marine Policy*, 113, 103803. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2019.103803>
- Deveci, M., Ozcan, E. & John, R., (2020). Offshore wind farms: a fuzzy approach to site selection in a black sea region. *IEEE Texas Power and Energy Conference (TPEC)*, 10–16. <https://doi.org/10.1109/TPEC48276.2020.9042530>
- Deveci, M., Özcan, E., John, R., Pamucar, D., & Karaman, H. (2021). Offshore wind farm site selection using interval rough numbers based Best-Worst Method and MARCOS. *Applied Soft Computing*, 109, 107532. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2021.107532>
- Díaz, H., & Soares, C. G. (2020). Review of the current status, technology and future trends of offshore wind farms. *Ocean Engineering*, 209, 107381. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2020.107381>
- Fan, G., Zhang, N., Liang, Z., & Wang, J. (2016). Analysis on the 'three norths' region wind and PV power limitation. *North China Electric Technol.*, 12, 55-59.
- Gao, J., Guo, F., Ma, Z., Huang, X., & Li, X. (2020). Multi-criteria group decision-making framework for offshore wind farm site selection based on the intuitionistic linguistic aggregation operators. *Energy*, 204, 117899. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117899>
- Genç, M.S., Karipoğlu, F., Koca, K., Azgin, S., T., (2021). Suitable site selection for offshore wind farms in Turkey's seas: GIS-MCDM based approach. *Earth Sci. India* 14, 1213–1225. <https://doi.org/10.1007/s12145-021-00632-3>
- Gil-García, C. Isabel, Ramos-Escudero, A., García-Cascales, M.S., Dagher, H. and Molina-García, A. (2022). Fuzzy GIS-based MCDM solution for the optimal offshore wind site selection: The Gulf of Maine case. *Renewable Energy*, 183(81) 130-147. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.10.058>
- Global Wind Atlas. (2022). Global Wind Atlas (Version 3.0). <https://globalwindatlas.info>
- González, P.H., Clímaco, G., Mauri, G.R., Vieira, B.S., Ribeiro, G.M., Orrico Filho, R.D., Simonetti, L., Perim, L.R., & Hoffmann, I.C.S., (2019). New approaches for the traffic counting location problem. *Expert Syst. Appl.* 132, 189–198. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2019.04.068>
- Gul, M., & Yucesan, M. (2022). Performance evaluation of Turkish Universities by an integrated Bayesian BWM-TOPSIS model. *Socio-Economic Planning Sciences*, 80, 101173. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2021.101173>
- GWEC (2022 November 30). Global Wind Report 2019-2022, Council-GWEC (2022). Global Wind Energy Council, Brussels. <https://gwec.net/>
- Havan, C. (2017). Türkiye'de yenilenebilir enerji politikası: TR42 doğu Marmara bölgesi örneği. [Unpublished Master Thesis]. Kocaeli University
- Höfer, T., Sunak, Y., Siddique, H. & Madlener, R. (2016) Wind farm siting using a spatial analytic hierarchy process approach: a case study of the Städteregion Aachen. *Applied Energy*, 163, 222–43. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.10.138>

- Hwang, C., L. & Yoon, K. (1981). *Attribute Decision Methods and Applications*, Springer, Berlin Heidelberg,
- Interagency Ocean Observation Committee. IOOC, (2022). <https://www.iooc.us/> (Accessed 30 November 2022)
- Kim, C.-K., Jang, S. & Kim, T. Y. (2018). Site selection for offshore wind farms in the southwest coast of South Korea. *Renewable Energy*, 120, 151-162. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.12.081>
- Kim, H., O'Kelly, M.E., (2009). Reliable p-hub location problems in telecommunication networks. *Geographical. Analysis*. 41, 283–306. <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.2009.00755.x>
- Kim, T., Park, J. I., & Maeng, J. (2016). Offshore wind farm site selection study around Jeju Island, South Korea. *Renewable energy*, 94, 619-628. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.03.083>
- Kiziroglu, I. & Erdogan, A. (2015). Relations between ecosystem and wind energy. *Fresenius Environmental Bulletin*, 24(1A), 163-171.
- Ladenburg, J. (2009). Visual impact assessment of offshore wind farms and prior experience. *Applied Energy*, 86, 380–387. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2008.05.005>
- Lessin, A.M., Lunday, B.J., Hill, R.R., (2018). A bilevel exposure-oriented sensor location problem for border security. *Computers & Operations Research*, 98, 56–68. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2018.05.017>
- Lilley, M.B., Firestone, J. & Kempton, W. (2010). The effect of wind power installations on coastal tourism. *Energies*, 3(1), 1–22. <https://doi.org/10.3390/en3010001>
- Maden Tetkik ve Arama, MTA (2022). <https://www.mta.gov.tr/> (Accessed 30 November 2022).
- Marine Traffic. Marine Traffic: Global Ship Tracking Intelligence (2022). AIS Marine Traffic. <https://www.marinetraffic.com/en/ais/home/centerx:-12.0/centery:25.0/zoom:4> (Accessed 30 November 2022).
- Markard, J., & Petersen, R. (2009). The offshore trend: Structural changes in the wind power sector. *Energy Policy*, 37(9), 3545-3556.
- Mohammadi, M., & Rezaei, J. (2020). Bayesian best-worst method: A probabilistic group decision making model. *Omega*, 96, 102075. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2019.06.001>
- Moriguchi, S., Mukai, H., Komachi, R. & Sekijima, T. (2019). Wind farm effects on migratory flight of swans and foraging distribution at their stopover site. *Wind Energy and Wildlife Impacts*, 125-133. https://doi.org/10.1007/978-3-030-05520-2_8
- Munim, Z. H., Balasubramanian, S., Kouhizadeh, M., & Hossain, N. U. I. (2022). Assessing blockchain technology adoption in the Norwegian oil and gas industry using Bayesian Best Worst Method. *Journal of Industrial Information Integration*, 28, 100346. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2022.100346>
- Murali RM, Vidya PJ, Modi P. & Kumar SJ. (2014). Site selection for offshore wind farms along the Indian coast. *Indian Journal of Geo-Marine Sciences* 43(7), 1401-1406.
- Nedaei, M., Assareh, E., & Biglari, M. (2014). An extensive evaluation of wind resource using new methods and strategies for development and utilizing wind power in Mahshahr station in Iran. *Energy Conversion and Management*, 81, 475-503. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.02.025>
- Nedjati, A., Izbirak, G., Arkat, J., (2017). Bi-objective covering tour location routing problem with replenishment at intermediate depots: formulation and metaheuristics. *Computers & Industrial Engineering*. 110, 191–206. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2017.06.004>
- OpenStreetMap, (2022). <https://www.openstreetmap.org/#map=11/39.6420/27.9403> (Accessed 30 November 2022).
- Oran, M. (1994). Kuzey Ege Denizi su kütleleri ve dağılışı özellikleri [Unpublished doctoral dissertation]. University of Istanbul.
- Özşahin, E., & Kaymaz, Ç. (2013). Rüzgâr Enerji Santrallerinin (Res) Yapım Yeri Seçimi Üzerine Bir Cbs Analizi: Hatay Örneği. *Türk Bilim Research Foundation Science Journal*, 6(2) 1-18.
- Pantaleo, A., Pellerano, A., Ruggiero, F. & Trovato, M. (2005). Feasibility study of offshore wind farms: an application to Puglia region. *Sol Energy*, 79(3), 321–331. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2004.08.030>
- Presidency of Republic of Turkey, 2019. Türk Boğazları Trafik Düzeni Yönetmeliği, vol. 22. Republic of Turkey Official Gazette, Turkey.
- Pui, G., Bhandari, J., Arzaghi, E., Abbassi, R., Garaniya, V., (2017). Risk-based maintenance of offshore managed pressure drilling (MPD) operation. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 159, 513–521. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2017.09.066>
- Regional Earthquake-Tsunami Monitoring Center (2021 November 30). Earthquake information system (Turkish). <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/zeqdb/>
- Rezaei, J. (2015). Best-worst multicriteria decision-making method. *Omega*, 53, 49-57. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2014.11.009>
- Rezaei, J. (2016). Best-worst multicriteria decision-making method: Some properties and a linear model. *Omega*, 64, 126-130. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2015.12.001>
- Roy, B. (1978). ELECTRE III: Un algorithme de classements fonde sur une representation floue des preference en presence de criteres multiples. *Cahiers de CERO*, 20, 3–24.
- Saner, H. S., Yucesan, M., & Gul, M. (2022). A Bayesian BWM and VIKOR-based model for assessing hospital preparedness in the face of disasters. *Natural hazards*, 111(2), 1603-1635. <https://doi.org/10.1007/s11069-021-05108-7>
- Satir, M., Murphy, F., & McDonnell, K. (2018). Feasibility study of an offshore wind farm in the Aegean Sea, Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 2552–2562. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.063>
- Shorabeh, S. N., Argany, M., Rabiei, J., Firozjaei, H. K., & Nematollahi, O. (2021). Potential assessment of multi-renewable energy farms establishment using spatial multicriteria decision analysis: A case study and mapping in Iran. *Journal of Cleaner Production*, 295, 126318. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126318>
- Sivri, G. (2013). Marmara Denizi'nde sualti heyelan kaynaklı bir tsunami: Tuzla açıkları için bir senaryo [Unpublished Master Thesis]. Istanbul Technical University.
- Siyal, S.H., Mörtberg, U., Mentis, D., Welsch, M., Babelon, I. & Howells, M. (2015). Wind energy assessment considering geographic and environmental restrictions in Sweden: a GIS-based approach, *Energy* 83, 447-461, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.02.044>
- Snyder, B., & Kaiser, M. J. (2009). Ecological and economic cost-benefit analysis of offshore wind energy. *Renewable Energy*, 34(6), 1567-1578. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2008.11.015>
- Sullivan, R.G., Kirchler, L.B., Cothren, J. & Winters, S.L. (2013). Research article: offshore wind turbine visibility and visual impact threshold distances. *Environmental Practice*, 15, 33–49. <https://doi.org/10.1017/S1466046612000464>

- Taoufik, M. & Fekri, A. (2021). GIS-based multicriteria analysis of offshore wind farm development in Morocco, *Energy Conversion and Management: X*, 11, 100103, 2590-1745, <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2021.100103>
- Tercan, E. (2021). Land suitability assessment for wind farms through best-worst method and GIS in Balıkesir province of Turkey. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 47, 101491. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101491>
- The General Bathymetric Chart of the Oceans, GEBCO. (2022 November 30) <https://www.gebco.net/>
- Tortumluoğlu, M.İ. & Doğan, M. (2021). Açık Deniz Rüzgar Türbinleri için Uygun Yer Seçim Kriterlerinin İrdelenmesi ve Kuzey Ege Kıyılarına Uygulanması. *DEUFMD*, 23(67), 25-41.
- Turkish Wind Energy Association (2022 December 30). <https://www.tureb.com.tr/>
- Van-Haaren R. & Fthenakis V. (2011). GIS based wind farm site selection using spatial multi criteria analysis (SMCA): evaluating the case of New York State. *Renew Sustain Energy Rev*, 15:3332–40. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.04.010>
- Vasileiou M, Loukogeorgaki E, & Vgiona D (2017) Gis-based multicriteria decision analysis for site selection of hybrid offshore wind and wave energy systems in Greece. *Renew Sustain Energy Rev* 73, 745–757. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.161>
- Offshore Wind in Europe – Key Trends and Statistics. Wind Europe. (2021). <https://www.connaissancedesenergies.org/sites/default/files/pdf-actualites/WindEurope-Offshore-wind-in-Europe-statistics-2020.pdf>. (Accessed 30 November 2022).
- Yazdi, M., (2019). A review paper to examine the validity of Bayesian network to build rational consensus in subjective probabilistic failure analysis. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, 10, 1–18. <https://doi.org/10.1007/s13198-018-00757-7>
- Yazdi, M., Nedjati, A., Abbassi, R., (2019b). Fuzzy dynamic risk-based maintenance investment optimization for offshore process facilities. *J. Loss Prev. Process. Ind.* 194–207. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2018.11.014>
- Zhao, X. G., & Ren, L. Z. (2015). Focus on the development of offshore wind power in China: Has the golden period come. *Renewable Energy*, 81, 644-657. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.03.077>



Dates of Holocene environmental changes in Lake Bafa: A hierarchical Bayesian analysis of change points

Holosen'de Bafa Gölü'ndeki ortamsal değişikliklerin tarihleri: Hiyerarşik Bayes değişim noktası analizi

Zeki Bora Ön ^{a*} 

^a Muğla Sıtkı Koçman University, Faculty of Engineering, Department of Geological Engineering, Türkiye.

ORCID: Z.B.Ö. 0000-0002-8684-3476

BİLGİ / INFO

Geliş/Received: 14.04.2023

Kabul/Accepted: 05.06.2023

Anahtar Kelimeler:

Büyük Menderes Vadisi
Gibbs örnekleme
Maiandros Nehri
Milet

Keywords:

Büyük Menderes Valley
Gibbs sampling
Maiandros River
MCMC
Miletos

*Sorumlu yazar/Corresponding author:

(Z. B. Ön) boraon@mu.edu.tr

DOI: 10.17211/tcd.1283443



Atf/Citation:

Ön. Z., B., (2023). Dates of Holocene environmental changes in Lake Bafa: A hierarchical Bayesian analysis of change points. *Türk Coğrafya Dergisi*, (82), 23-36.

<https://doi.org/10.17211/tcd.1283443>

ABSTRACT / ÖZ

The timing of the separation of Lake Bafa from the Aegean Sea and its subsequent transition to a lake remains a topic of debate, with considerable uncertainties associated with the proposed dates for these transitions. This study introduces a novel approach, hierarchical Bayesian change point analysis (HBCPA), to identify tipping points in paleoenvironmental time series. The objective is to offer more precise and objectively selected results concerning the previously uncertain transition dates of Lake Bafa's geological evolution in the Holocene. The method presented in this study is applied to analyze stable oxygen and carbon isotope data from foraminifer and ostracod shells, as well as total organic carbon (TOC) data, obtained from the BAFA09P02 sediment core. Results indicate that the transition from a marine to an isolated lagoon environment occurred around 2060 years BP, with an 89% uncertainty interval ranging from 2250 to 1870 years BP. Additionally, the transition from an isolated lagoon to a brackish lake environment is estimated to have occurred around 595 years BP, with an 89% uncertainty interval ranging from 780 to 425 years BP. The results of this study illustrate that the suggested HBCPA approach holds the capability to identify tipping points in environmental data while quantifying their intrinsic uncertainties.

Bafa Gölü'nün Ege Denizi'nden ayrılmasının ve ardından tatlısu gölüne geçişinin zamanlaması tartışmalıdır ve bu değişimler için önerilmiş olan tarihlerin belirsizlik aralıkları oldukça geniştir. Bu çalışmada, paleoçevre verilerinin analizinde kullanılmak üzere yeni bir yaklaşım olarak "hiyerarşik Bayes değişim noktası analizi" (HBCPA) önerilmektedir ve sonuç olarak Bafa Gölü'nün Holosen'de ortamsal değişim tarihleri için önerilmiş geniş belirsizlik aralıklarını daraltma amacını taşımaktadır. Önerilen yöntem, BAFA09P02 çökel karotu foraminifer ve ostrakod kavkılarında elde edilen duraylı oksijen ve karbon izotop verileri ile toplam organik karbon (TOC) verileri üzerinde uygulanmıştır. Sonuçlar, denizel ortamdan kapalı lagünel ortama geçişin yaklaşık GÖ 2060 yıl civarında gerçekleştiğini ve %89 belirsizlik aralığının GÖ 2250 ila 1870 yılları aralığında olduğunu göstermektedir. Kapalı bir lagüden acısu göl ortamına geçişin ise yaklaşık GÖ 595 yıl civarında gerçekleştiği ve %89 belirsizlik aralığının GÖ 780 ila 425 yıllarını kapsadığı bulunmuştur. Bu çalışmanın sonuçları, önerilen HBCPA yönteminin jeolojik verilerde çevresel değişim noktalarını, sahip oldukları belirsizlikleri ile ölçme potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir.

1. Introduction

Lake Bafa, located near notable ancient sites including Miletos, Priene, and Herakleia, is a remnant body formed by the separation of the Gulf of Latmos from the Aegean Sea. The separation took place as a result of the progradation of the delta mouth of the Büyük Menderes River (referred to as the Maiandros River in ancient times), which led to the formation of a barrier (see Figure 1). Despite its environmental, archaeological and geological significance, the timing of the lake's isolation from the Aegean Sea is still a matter of debate (cf. Akçer-Ön et al., 2020; Brückner et al., 2017; Müllenhoff et al., 2004; Salihoğlu & Akçer-Ön, 2020).

Previous studies have reported conflicting dates, with variations of more than three thousand years, regarding the period when the basin became isolated from the open sea (cf. Akçer-Ön et al., 2020; Knipping et al., 2008; Müllenhoff et al., 2004). However, Akçer-Ön et al. (2020) used up-to-date calibration curves and advanced Bayesian age-depth modeling techniques to demonstrate the potential compatibility between the contradictory hypotheses proposed by Akçer-Ön et al. (2020) and Knipping et al. (2008). Given that the temporal findings presented by Akçer-Ön et al. (2020) are in direct contradiction with all previously documented studies, the uncertainty intervals for the transition dates are approached with utmost caution, resulting in the broadest range of uncertainty being reported. They utilized a multiproxy approach that included faunal distribution, geochemical data, and physical properties of the core. The discussion focuses on different age-depth models based on diverse assumptions, leading to a

high level of uncertainty. Their results highlighted the temporal uncertainties associated with the transition from a marine environment to an isolated lagoon, spanning up to two millennia. Similarly, the transition from an isolated lagoon to a brackish lake exhibited uncertainties covering approximately 600 years (see the upper panel of Table 1).

The present study reports the results of a hierarchical (multilevel) Bayesian change point analysis (HBCPA) to estimate transition dates with greater objectivity and precision than those reported by Akçer-Ön et al. (2020). TOC data from bulk sediment, stable carbon and oxygen isotope data from foraminifer and ostracod shells (Figure 2) in the BAFA09P02 core are analyzed using HBCPA. This statistical method detects credible shifts or changes in multiple time series data simultaneously, providing an overall average that captures any type of uncertainty. The approach employs piecewise linear regression to approximate the data and estimate parameters for each segment, identifying points in time where the data deviates from the prior segment. A hierarchical Bayesian approach is advantageous for incorporating all levels of uncertainties and prior information of the data, and expressing the uncertainty of the results in an intuitive way.

Several prior studies in the field of earth sciences have utilized Bayesian hierarchical models (Ön et al., 2023, and references therein), Bayesian solutions of Kalman filter to assess potential changes through regression models (Ön et al., 2021), or Bayesian change point analysis to identify trend shifts or level changes in time series (Cahill et al., 2015; Gallagher et al.,

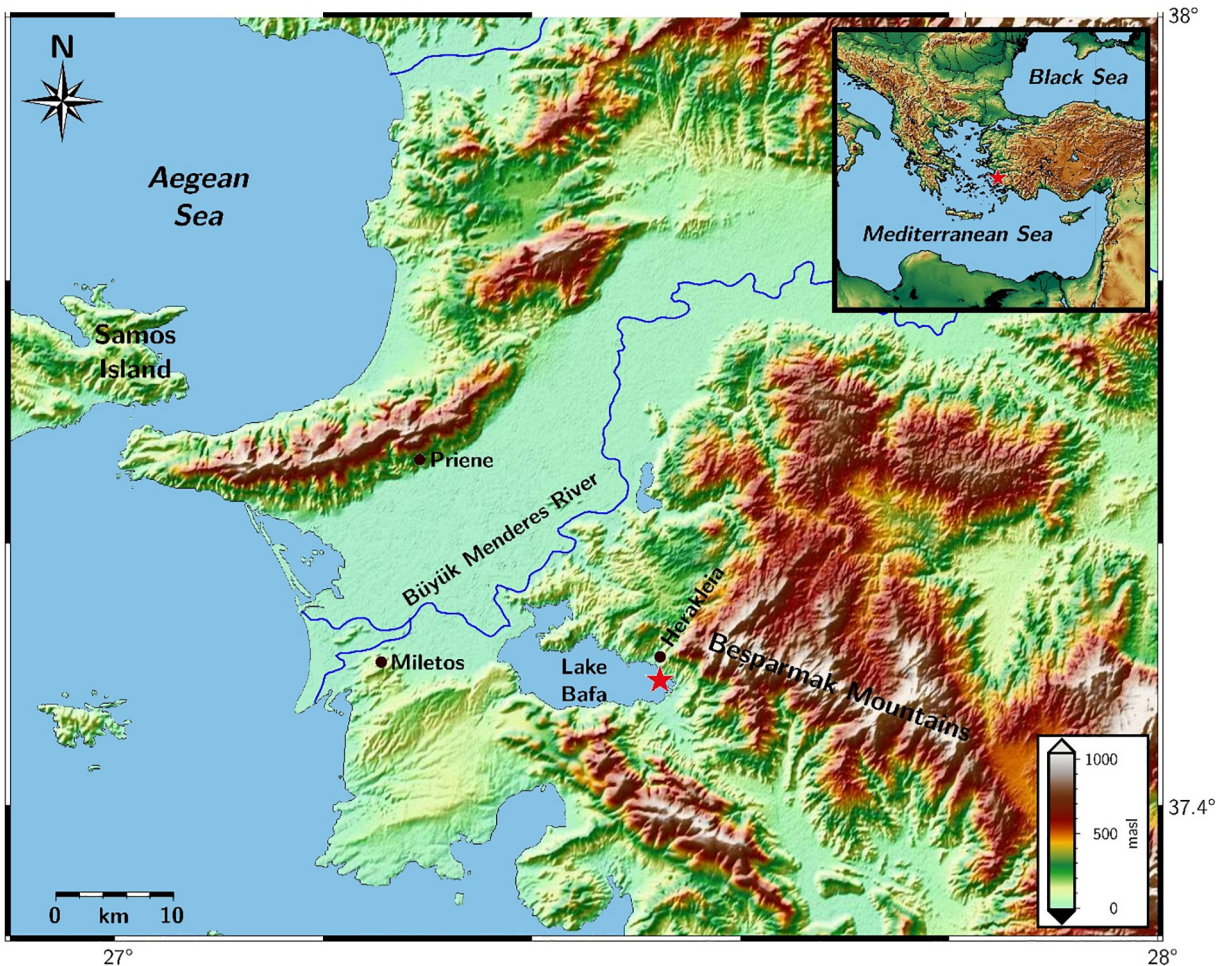


Figure 1. Location map of Lake Bafa and the drilling site (red star) of BAFA09P02 core. Modified from Akçer-Ön et al. (2020).

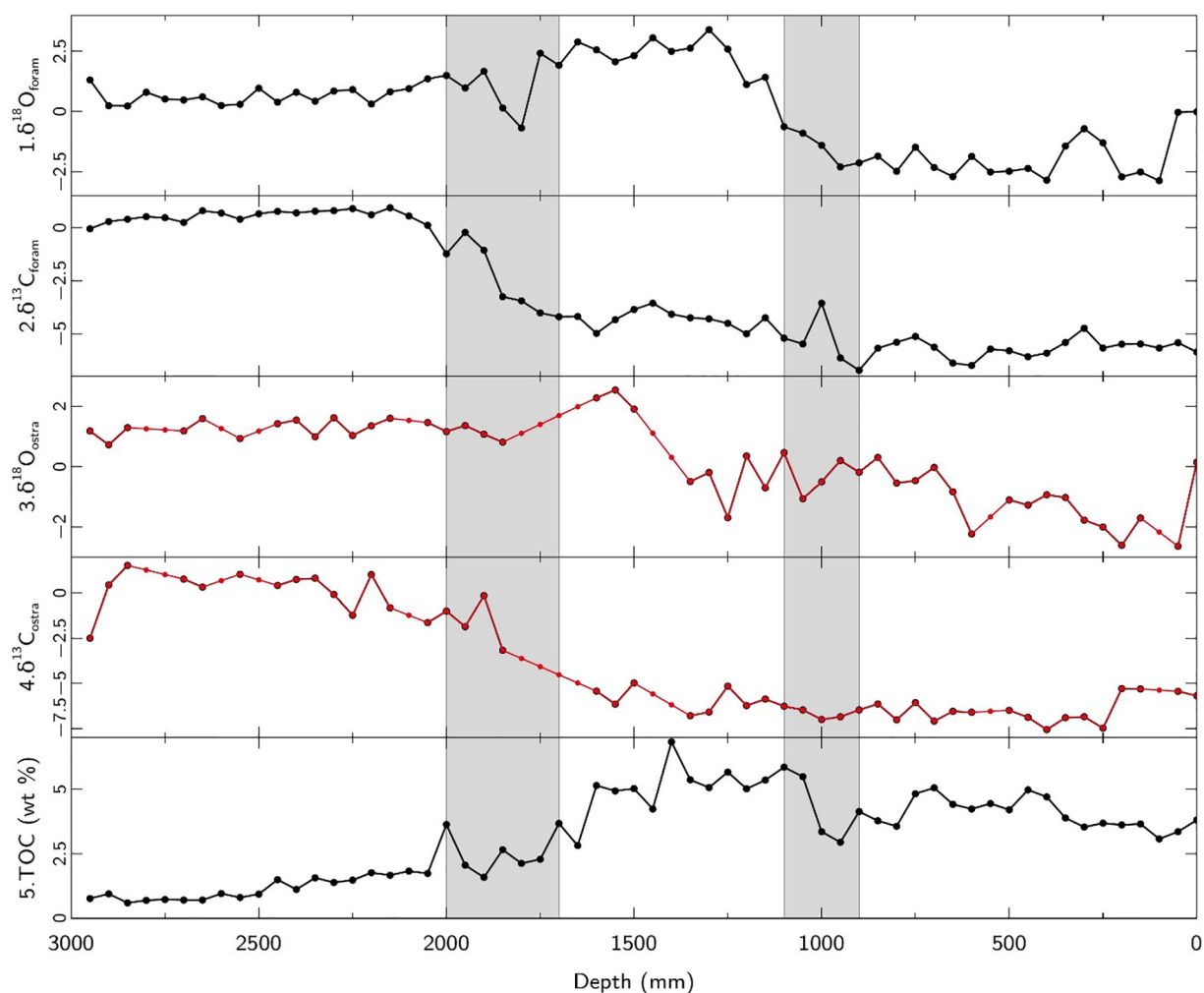


Figure 2. The figure illustrates the core depth plotted against the proxy data obtained from Akçer-Ön et al. (2020) and employed in this study. The gray shaded areas indicate the intervals of environmental change as identified by Akçer-Ön et al. (2020). The red curves represent the missing datasets, with small red dots indicating the filled data.

2011; Ön, in press). However, to the best of my knowledge, no previous studies have employed a hierarchical change point approach to analyze paleoenvironmental data. In the case of the Lake Bafa data, this approach is feasible since multiple proxy data indicate a discernible response to environmental changes. (Figure 2). Therefore, the findings of this study have the potential to offer insights into the disputed geographic history of the region in the archaeological timespan.

2. Regional Setting

Lake Bafa is a shallow freshwater lake located in southwestern Anatolia, Turkey, approximately 20 km inland from the Aegean Sea (Figure 1). The lake, covering an area of approximately 70 square kilometers, is a residual body of water that originated from the delta progradation of the Büyük Menderes River. The region is characterized by rugged terrain and is sparsely populated. The lake basin is situated within the Aegean extensional province, which is subject to active extensional faulting owing to significant tectonic activity (Mozafari et al., 2019). The area experiences the influence of a Mediterranean climate pattern, characterized by abundant rainfall during winter and scarce precipitation during summer. The lake is characterized as mesohaline with a salinity range of 8–13‰. Lake Bafa is fed by several small streams and is home to a diverse range of

plant and animal species, including several endemic species (Akçer-Ön et al., 2020).

3. Materials and Methods

3.1. Data

This study examines a 298 cm long undisturbed sediment core (BAFA09P02) retrieved from the eastern part of Lake Bafa (Figure 1) in 2009 at a water depth of 4.9 m. According to the “preferred” age-depth model of Akçer-Ön et al. (2020), the core approximately spans the last 8700 years BP¹. Akçer-Ön et al. (2020) provided a thorough analysis and description of the sediment core, including the TOC measurements, and also the $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$ compositions of the shells from the most common and consistent benthic foraminifer species, *Ammonia tepida*-*Ammonia sp.*, as well as from ostracod species, *Cyprideis torosa* and *Xestoleberis sp.* To simplify notation, this study uses subscripts F and O to represent the isotope values of foraminifers and ostracods, respectively. These proxy data are suitable indicators of environmental changes, encompassing salinity, evaporation, and organic productivity. Their age-based profiles facilitate the exploration of the timing and associated uncertainties linked to the chemical and subsequent physical transitions of Lake Bafa, which was once connected to the Aegean Sea in the geological past.

¹ The term “years BP” is an abbreviation used to refer to years before the present, where the present is defined as 1950 CE, as established by Flint & Deevey (1962).

The data resolution for all presented data is 5 cm. However, at specific depths, as noted in the supporting information by Akçer-Ön et al. (2020), measurements of stable isotope data from ostracod species are missing. To address this, the original authors used linear regression approach, utilizing available data points from adjacent depths. Similarly, in this study, the same approach has been applied to estimate and complete the missing data points throughout the entire data matrix (Figure 2).

3.2. Hierarchical Bayesian Change Point Analysis

The time series of $\delta^{18}\text{O}_F$, $\delta^{13}\text{C}_F$, $\delta^{18}\text{O}_O$, and TOC in this study are assumed to have two change points, while $\delta^{13}\text{C}_O$, as described in Section 4, involves only one change point. All these data are assumed to be described as piecewise linear regressions between and beyond the change points. All these data are assumed to follow a piecewise linear regression model, both between and beyond the change points. In the equations below, the time axis for each series is defined by $\{x_1, \dots, x_n\}$, where x_1 and x_n represent the first and last elements of the time vector. The piecewise regression models for each standardized (x_i, y_i^k) can be expressed as per the notation of Lindeløv (2020):

$$y_i^k \sim t_{(\nu^k)}(\mu_i^k, (\sigma^k)^2) \quad (1)$$

where μ_i^k is given by

$$\begin{aligned} \mu_i^k = & [x_i \geq x_1][x_i < c_1^k](\alpha_1^k + \beta_1^k x_i) \\ & + [x_i \geq c_1^k][x_i < c_2^k](\alpha_2^k + \beta_2^k x_i) \quad (2) \\ & + [x_i \geq c_2^k][x_i \leq x_n](\alpha_3^k + \beta_3^k x_i), \end{aligned}$$

and

$$\sigma^k \sim N^{(0,\infty)}(0,1), \quad (3)$$

$$\nu^k \sim \text{Exp}(1/30). \quad (4)$$

In Equation 2, the mathematical statement $[a\hat{R}b]$ represents a binary indicator function that denotes the truth value of a relational statement $[a\hat{R}b]$ where \hat{R} denotes any given relation. This relational statement evaluates to a logical variable that equals 1 if and only if the relation holds true, and 0 otherwise. The equation presented in Equation 1 above utilizes the notation t_ν to represent the t -distribution, where ν denotes the degrees of freedom or the normality parameter, as described by Kruschke (2015). In order to exercise greater caution with respect to the regression parameters, a robust t -distribution was selected to prevent any potential influence of outliers on the detection of change points in the data. Moreover, the parameter ν is assigned an exponential distribution with a mean value of 30 to create a prior that assigns equal probability to values of ν less than or greater than 30, and thereby giving equal weight to an approximate normal distribution and a heavy-tailed distribution. ($N^{(0,\infty)}$) denotes truncated normal distribution with truncation range $(0,\infty)$ and Exp denotes exponential distribution. The upper index k represents the index of the variable, running from 1 to 5. These index numbers, as also given in Figure 2, correspond to $\delta^{18}\text{O}_F$, $\delta^{13}\text{C}_F$, $\delta^{18}\text{O}_O$, $\delta^{13}\text{C}_O$, and TOC, respectively.

The uncertainty of the age model is implemented through:

$$x_i \sim N(x_i^{\text{am}}, (\sigma_i^{\text{am}})^2), \quad (5)$$

where x_i^{am} and σ_i^{am} are the standardized mean and one sigma error of the age model presented as the “preferred age model” in Akçer-Ön et al. (2020).

For each variable, the change points c_1 and c_2 are described as:

$$c_1^k \sim t_4(c_1^g, 200^2), \quad (6)$$

$$c_2^k \sim t_4(c_2^g, 200^2), \quad (7)$$

where c_1^g and c_2^g are the comprehensive change points, which from now on I will call them as general change points, which are of primary interest and assumed as such:

$$c_1^g \sim t_{\{\nu^{\text{cp}1}\}}(520, 200^2), \quad (8)$$

$$c_2^g \sim t_{\{\nu^{\text{cp}2}\}}(2545, 200^2), \quad (9)$$

where

$$\nu^{\text{cp}1} \sim \text{Exp}(1/30), \quad (10)$$

and

$$\nu^{\text{cp}2} \sim \text{Exp}(1/30). \quad (11)$$

The mean and scale values of the t -distributions in Equations 6 to 9 were standardized with respect to the mean and standard deviation of the age model before conducting the analyses. The normality parameter in each t -distribution of the model is specified using an exponential distribution with a mean value of 30.

If not defined as zero, the parameters of each regression are defined as:

$$\alpha_j^k \sim t_{10}(0, 2^2), \quad (12)$$

$$\beta_j^k \sim t_{10}(0, 2^2). \quad (13)$$

However, according to our model assumptions $\beta_1^1, \beta_2^1, \beta_3^1, \beta_1^2, \beta_2^2, \beta_3^2, \beta_1^3, \beta_3^3, \alpha_3^4, \beta_3^4, c_1^4, \beta_1^5, \beta_2^5$ are assumed to be zero. For details, please refer to the JAGS model provided at https://github.com/zboraoon/LakeBafeClosureBayesian_cps.

The posterior distributions of the model were obtained using Gibbs sampling through the JAGS program (Plummer, 2003) and the runjags interface (Denwood, 2016) in R (R Core Team, 2023). After discarding the initial 10,000 adaptation and burn-in steps, the Gibbs sampling process was performed for the standardized data model in JAGS. To ensure convergence, four separate Markov chain Monte Carlo (MCMC) chains with random initial points were ran, each consisting of 50,000 iterations for every dataset. The convergence of the Bayesian model was assessed by examining the trace plots, autocorrelation plots, effective sample size statistics, Gelman-Rubin statistics, and density plots, stacked for all four MCMC runs for all pa-

rameters (Figures S1–S6). The 89% highest density intervals (HDI), which provide uncertainty intervals for the outcomes, are presented following the methodology outlined by Kruschke (2015).

4. Results and Discussion

This study utilizes a HBCPA that assumes piecewise linear regressions before and after each change point, based on the two-step closure hypothesis of Lake Bafa described in Akçer-Ön et al. (2020). The assumptions for the model vary for each dataset, with three linear levels around two change points for $\delta^{18}\text{O}_F$ and $\delta^{13}\text{C}_F$, mixed levels and trends around two change points for $\delta^{18}\text{O}_O$ and TOC, and a single change point with trend lines on both sides for $\delta^{13}\text{C}_O$. Prior visual observations of the data were taken into account to establish these model settings and to determine which α and β values are zero, as explicitly given in Section 3.2 and in the JAGS model given in https://github.com/zboraoon/LakeBafaClosure_Bayesian_cps.

Additionally, alternative approaches were explored for analyzing each dataset during the research process of this study. However, these alternative approaches were not included in the main analyses and are not presented in this paper. For example, trend lines spanning between and beyond change points were utilized when analyzing the $\delta^{18}\text{O}_O$ data (see the

top plot in Figure 3). However, the MCMC runs did not converge for this approach, possibly due to model misspecification issues. Moreover, a single change point assumption was adopted for the $\delta^{13}\text{C}_O$ data, as alternative change point assumptions did not suggest a change at the isolated lagoon-to-lake transition. The results indicated a change occurring at a time point that is out of the context of this article. Therefore, the model specifications used in this study support the claims of a two-step transition and allow each model to converge to relatively meaningful dates.

The residual errors of the regression models in each segment are assumed to follow a t -distribution, as are the change point locations in each segment. The hyperparameters for the mean parameters of the t -distributions for the general change points (Equations 8 and 9) were selected based on the mean values reported in Akçer-Ön et al. (2020, p. 670), indicating that Lake Bafa started its transition to an isolated lagoon around 1180/1148 BCE (equivalent to 3130/3098 years BP), completed the transition by around 33/20 BCE (equivalent to 1983/1970 years BP), and fully transitioned to a closed brackish lake around 1397/1465 CE (equivalent to 553/485 years BP). The hyperparameters for the scale parameters of the t -distributions for the change points (Equations 6 to 9) were chosen with consideration given to its ability to span almost a millennium when multiplied by a factor of two. The limited

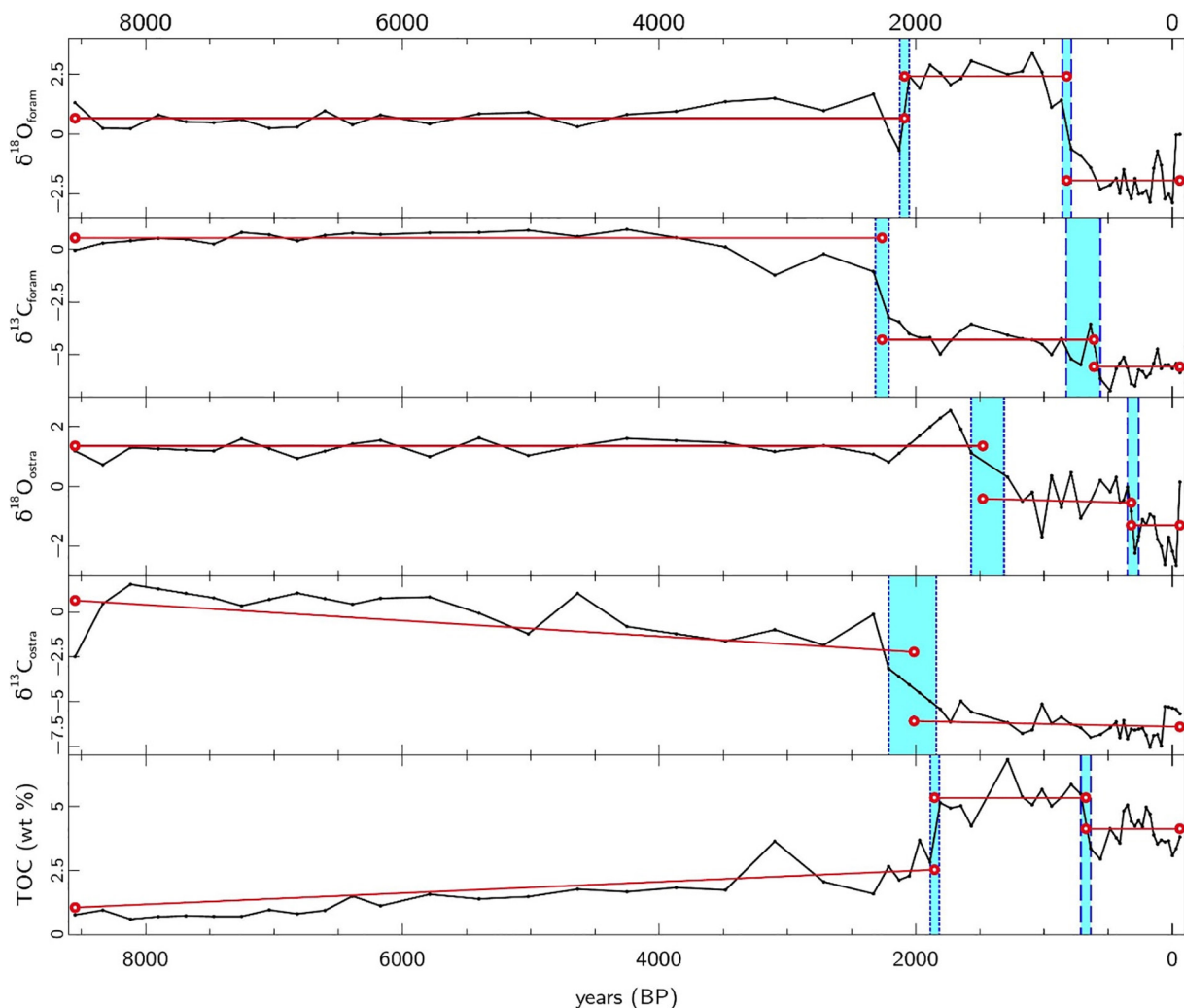


Figure 3. The figure displays the locations of the change points obtained from the change point analysis superimposed on the proxy time series. The cyan shaded regions represent the 89% highest density intervals (HDIs) of the posterior distributions of each change point. Within each segment, the red line segments show the piecewise linear regressions fitted to the median values of the posterior distributions of the regression parameters for each model.

Table 1. The top panel shows the uncertainty intervals of the start and end dates of environmental changes, obtained from the “preferred” age model proposed by Akçer-Ön et al. (2020, Table 3). The uncertainties have been expressed as 95.4% “credible interval”. The lower panel of the table shows the results of the hierarchical change point analyses for each proxy data and the general change points obtained in this study. The columns display the median values of the posterior distributions for each change point and their uncertainties are represented as 89% HDIs.

	marine-to-isolated lagoon cp-2 (years BP)			isolated lagoon-to-lake cp-1 (years BP)		
	Start of the transition	End of the transition		Start of the transition	End of the transition	
Results from Akçer-Ön et al. (2020)	3905–1509	2155–1774		984–602	595–385	
Proxy	Median	HDI high	HDI low	Median	HDI high	HDI low
$\delta^{18}\text{O}_f$	2085	2120	2050	820	855	790
$\delta^{13}\text{C}_f$	2260	2315	2210	610	825	560
$\delta^{18}\text{O}_o$	1480	1565	1310	320	350	260
$\delta^{13}\text{C}_o$	2010	2210	1840	—	—	—
TOC	1850	1890	1815	675	710	645
General cp’s	2060	2250	1870	595	780	425

number of available datasets makes it challenging to obtain reliable estimates of parameters in statistical models. While using more informative priors than those specified in Equations 6 to 9 could potentially impact the results significantly, doing so would require disregarding the proxy data utilized in this study. However, if weaker priors are adopted, it would overlook the significant findings of Akçer-Ön et al. (2020), who utilized a valuable multiproxy approach with a primary

focus on the faunal distribution within the core. To address this issue, the information from the faunal distribution data and other geochemistry data (specifically, μ -XRF elemental counts) are incorporated into the model through prior distributions and their hyperparameters (Equations 6 to 9).

The dates of the transitions obtained from the “preferred” age model are listed in Table 3 of Akçer-Ön et al. (2020) and sum-

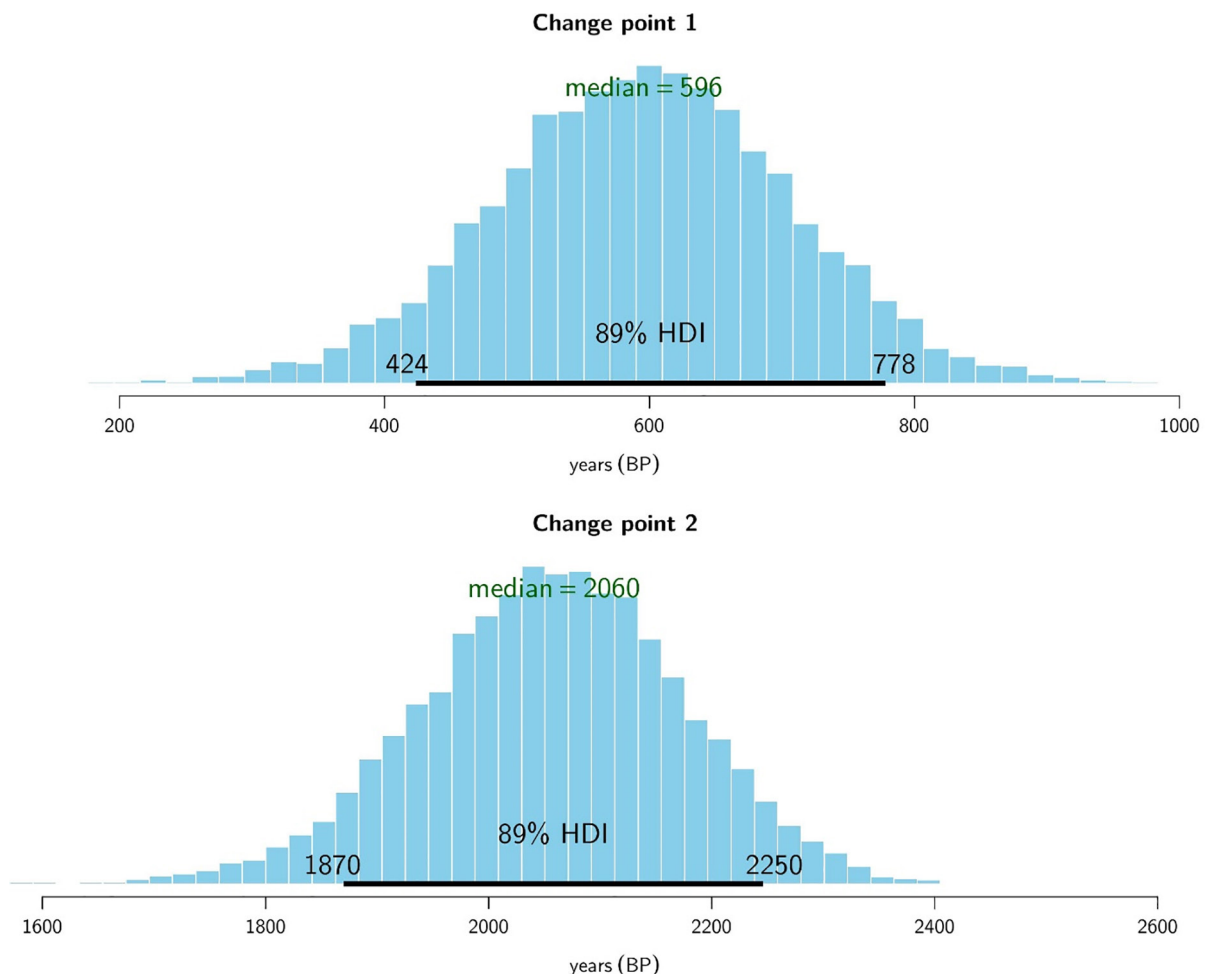


Figure 4. The figure exhibits the posterior distributions of the general change points, including their median values and 89% HDIs. The results of the transition from isolated lagoon-to-lake are displayed in the upper figure, while the results of the marine-to-isolated lagoon transition are shown in the lower figure.

marized in Table 1 of this study. These dates were determined based on the transition depths identified using multiproxy data, which included changes in faunal, lithostratigraphic, and geochemical characteristics along the core. The study aimed to demonstrate that the timing of the closure of Lake Bafa differed significantly from previous studies (Aksu et al., 1987; Knipping et al., 2008; Müllenhoff et al., 2004). Therefore, in order to be as cautious as they can, the presented dates include the widest possible uncertainties, taking into account different age-depth models.

The results of this study for each proxy data (Figure 3 and Table 1) show slightly different transition dates than those presented by Akçer-Ön et al. (2020), where each of the transitions of each proxy data are assumed to reflect phase transitions of environmental conditions. The dates and associated uncertainties of the general change points (Table 1 and Figure 4) obtained via the hierarchical model, which are 2060 (2250–1870) years BP and 595 (780–425) years BP, does not contradict with the proposed intervals by Akçer-Ön et al. (2020). The discrepancies in the transition dates between the results of each single proxy dataset, the multiproxy results of Akçer-Ön et al. (2020), and the general change points of this study are probably attributable to differences in sampling methods, sampling resolutions, bioturbation in the sediment column, and sensitivity of different proxies to transitions. Moreover, Salihoğlu & Akçer-Ön (2020), who conducted a recent study based on the cluster analysis of ostracod and foraminifer species counts, reported transition dates of 2200 ± 70 and 600 ± 80 years BP for marine-to-isolated lagoon and isolated lagoon-to-lake transitions, respectively. These dates are in close agreement with the results of our study.

5. Conclusions

The proposed method in this study employs a hierarchical Bayesian change point analysis to address the issues of “subjective” selection of transition points and large uncertainties of transition dates in a previous study on Lake Bafa. The proposed method is applied to the TOC data, and stable oxygen and carbon isotope data of foraminifers and ostracods from the BAFA09P02 core. The results suggests that, the transition from marine to isolated lagoon of Lake Bafa might have taken place within the period of 2250–1870 years BP (equivalent to 300 BCE–80 CE), with a median value of 2060 years BP (equivalent to 110 BCE), where the uncertainty is expressed as 89% HDI. And, the transition from isolated lagoon to lake is estimated to have occurred within the period of 780–425 years BP (equivalent to 1170 CE–1525 CE), with a median value of 595 years BP (equivalent to 1355 CE), where the uncertainty is expressed as 89% HDI. Furthermore, the study contributes to the field of earth sciences by utilizing a hierarchical change point approach for analyzing paleoenvironmental data.

Acknowledgements Figures 2-3 were produced utilizing Veusz 3.6.2, an open-source scientific plotting program, while Figure 4 was generated using the R software package. In addition, the language of this study was subject to editorial and refinement by OpenAI’s ChatGPT, and then further reviewed by Dr. Sena Akçer-Ön and the author of this study.

Code and data availability All the data and codes used to gen-

erate the results can be found at https://github.com/zboran/LakeBafeClosure_Bayesian_cps.

Appendix 1. Supplementary figures

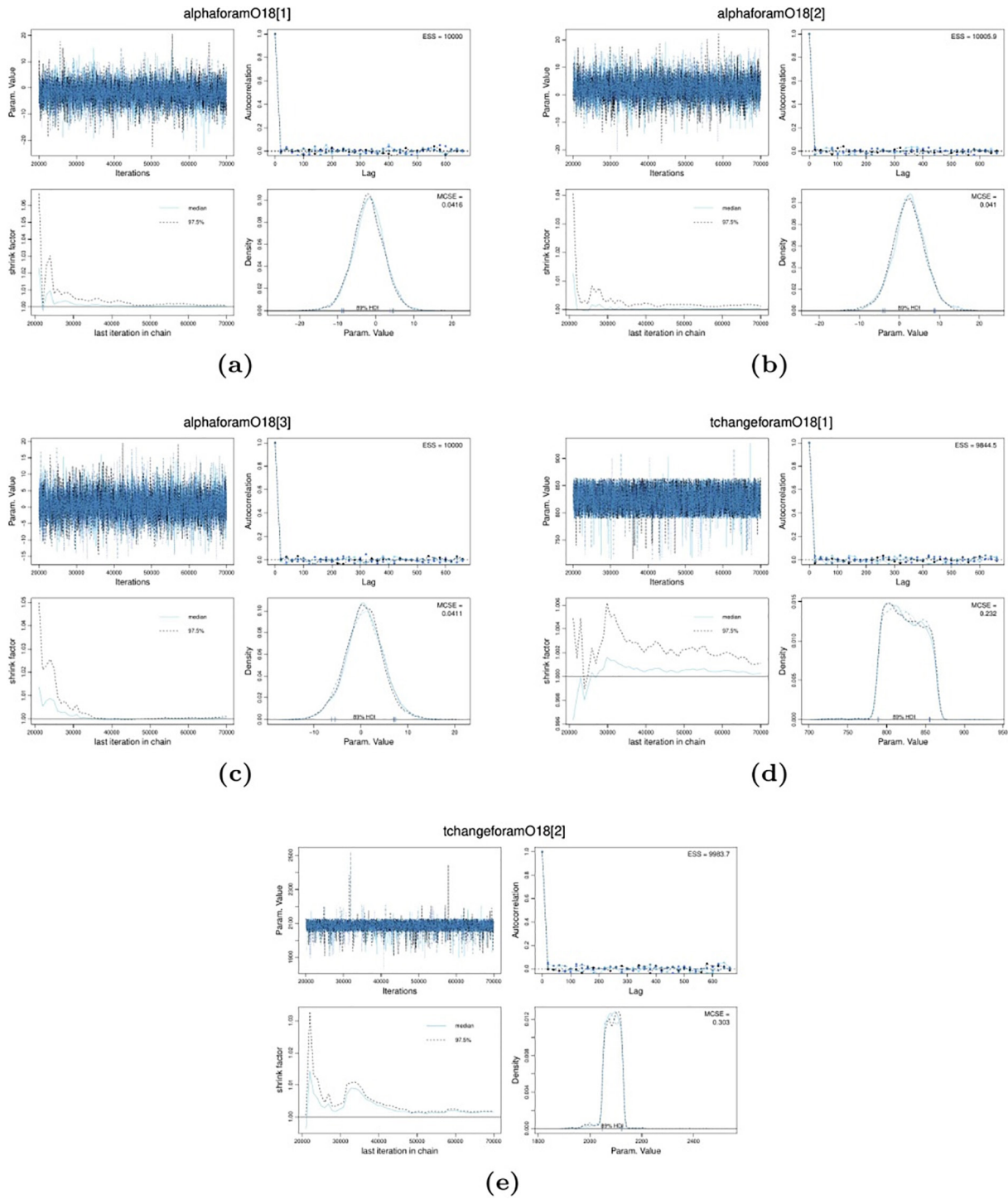


Fig. S1: Trace, autocorrelation, Gelman-Rubin statistic, and density plots are shown for all four runs of α_1 , α_2 , α_3 , c_1 , and c_2 pertaining to $\delta^{18}O_p$.

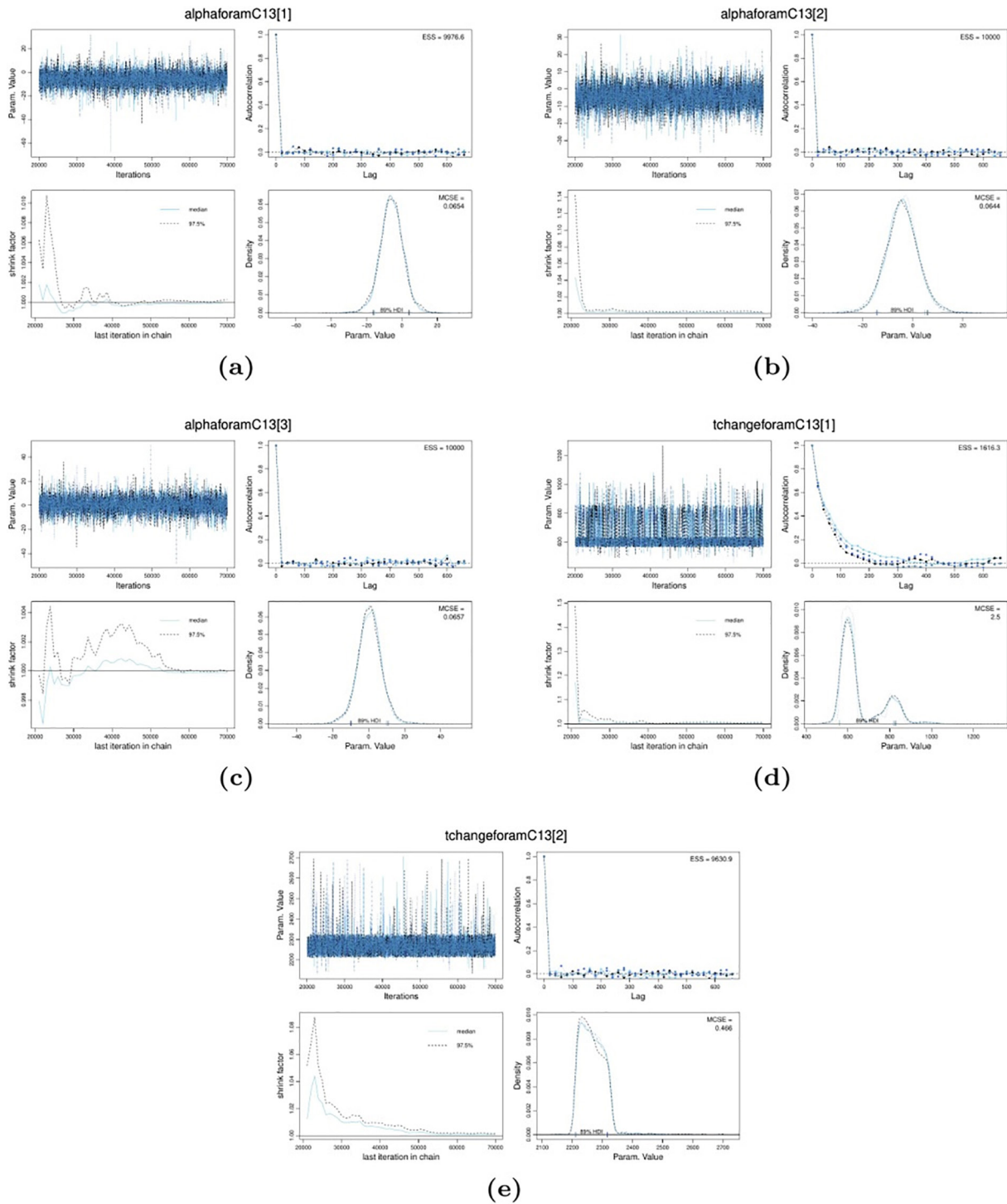


Fig. S2: Trace, autocorrelation, Gelman-Rubin statistic, and density plots are shown for all four runs of α_1 , α_2 , α_3 , c_1 , and c_2 pertaining to $\delta^{13}C_r$.

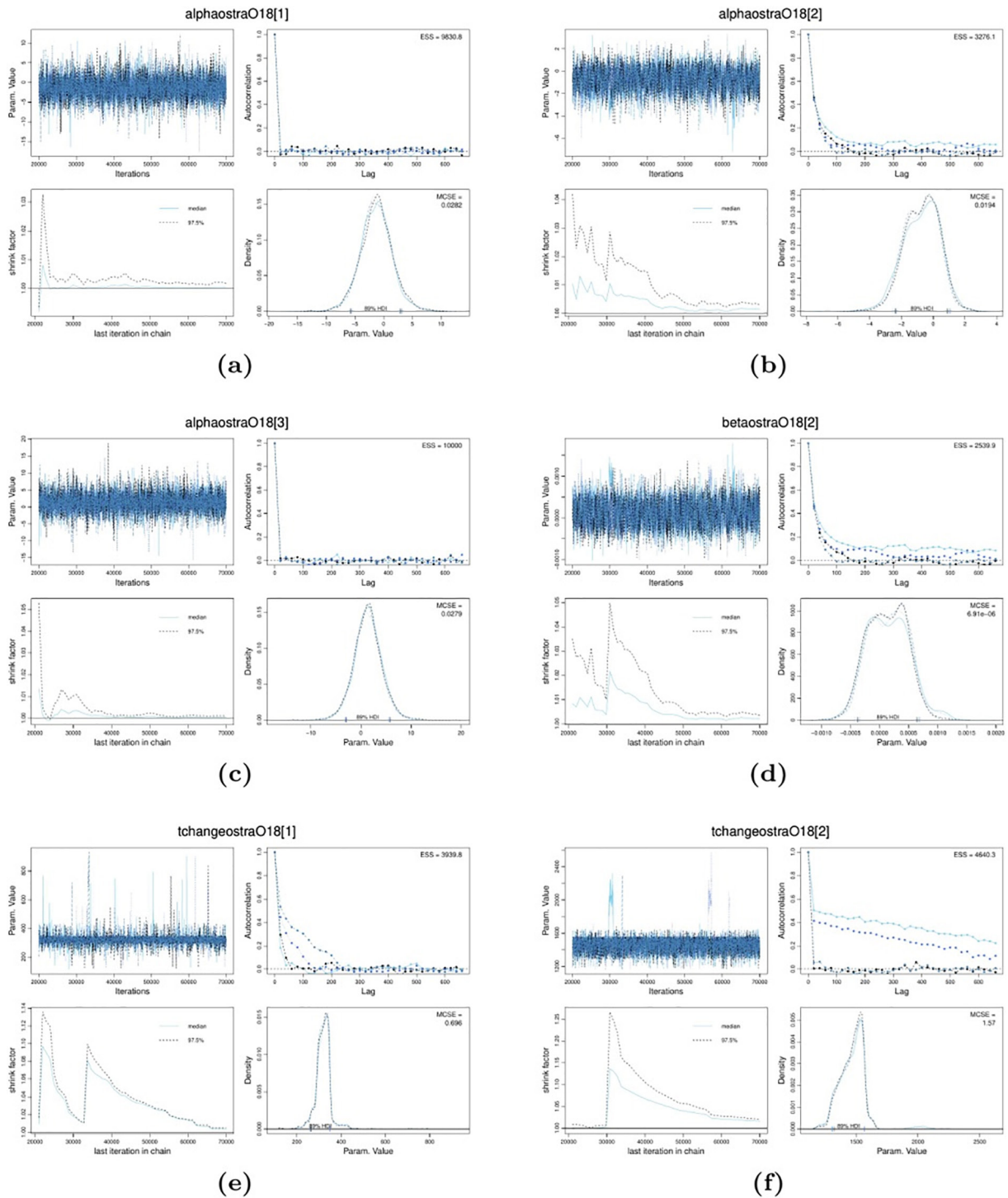


Fig. S3: Trace, autocorrelation, Gelman-Rubin statistic, and density plots are shown for all four runs of $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \beta_2, c_1,$ and c_2 pertaining to $\delta^{18}O_o$.

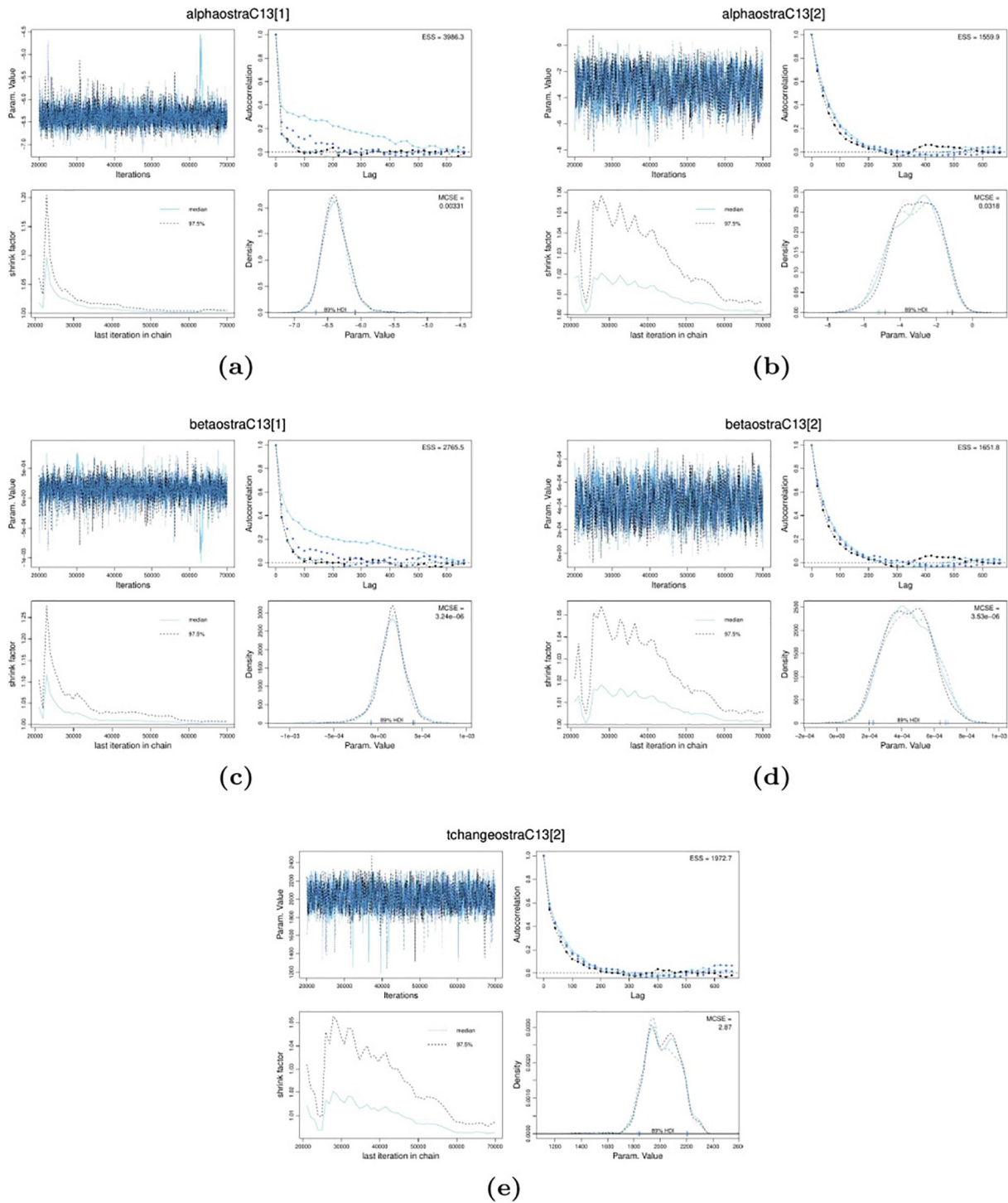


Fig. S4: Trace, autocorrelation, Gelman-Rubin statistic, and density plots are shown for all four runs of α_1 , α_2 , β_1 , β_2 , and c_2 pertaining to $\delta^{13}C_0$.

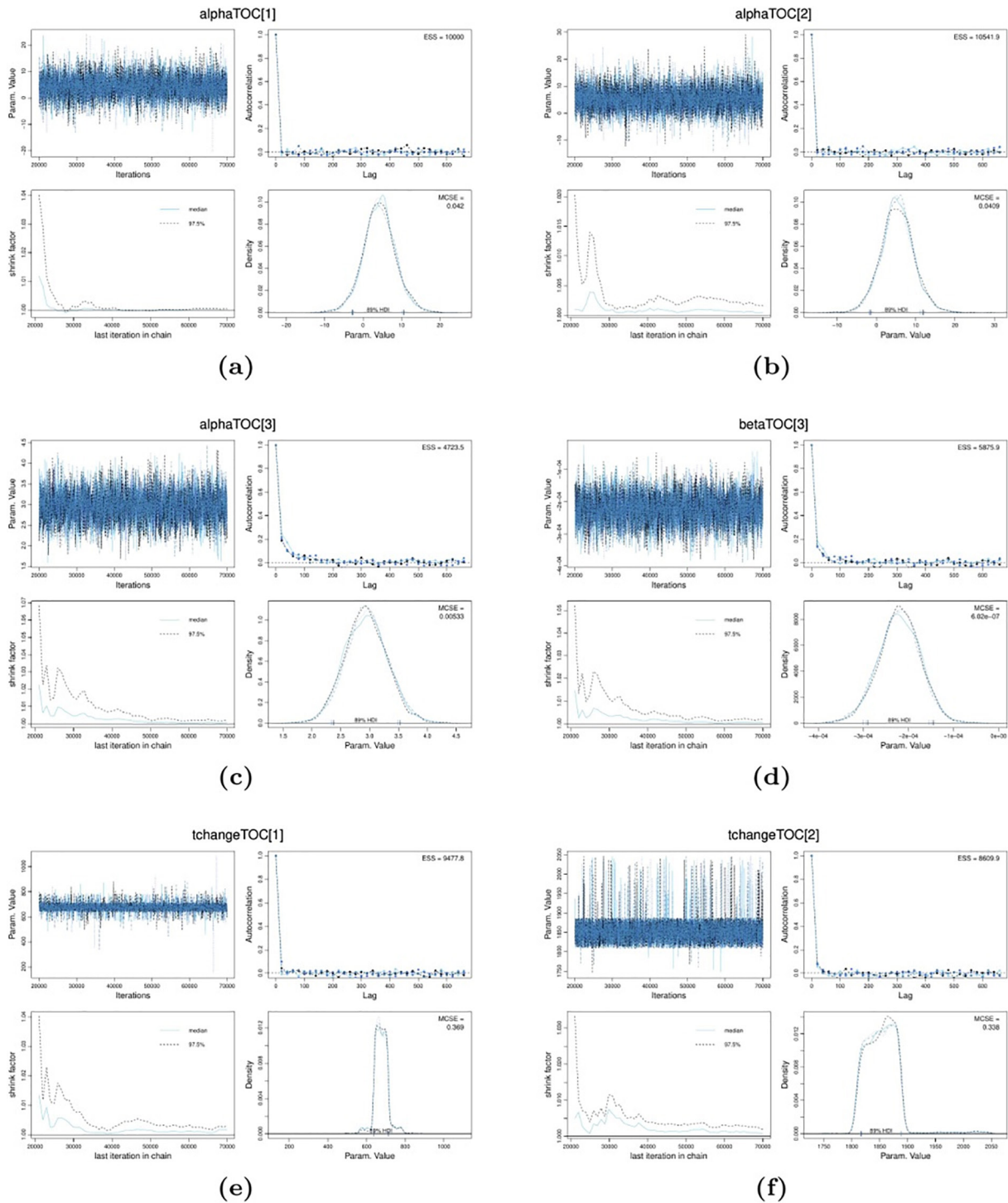


Fig. S5: Trace, autocorrelation, Gelman-Rubin statistic, and density plots are shown for all four runs of α_1 , α_2 , α_3 , β_3 , c_1 , and c_2 pertaining to TOC.

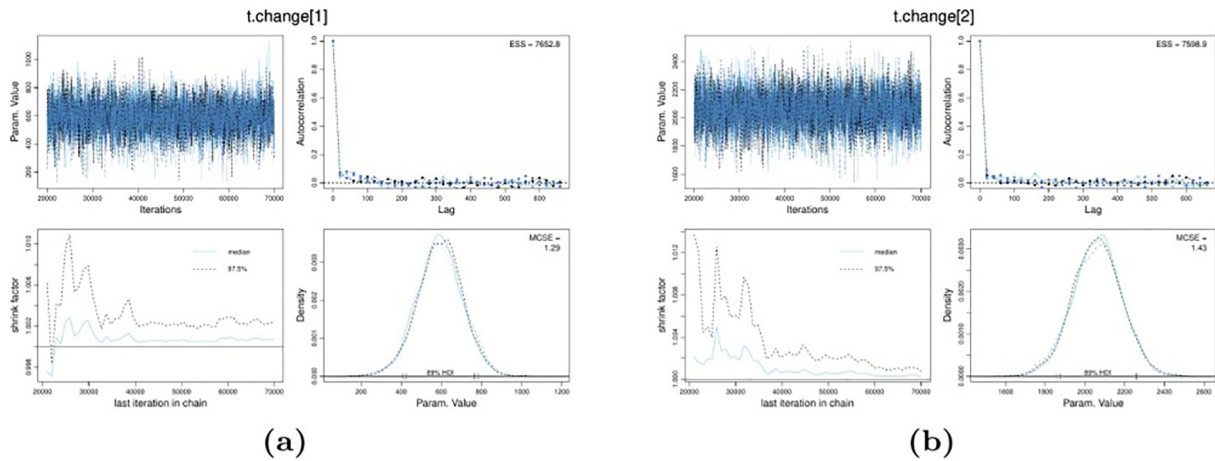


Fig. S6: Trace, autocorrelation, Gelman-Rubin statistic, and density plots are displayed for all four runs of the first and second general change points.

References

Akçer-Ön, S., Greaves, A. M., Manning, S. W., Ön, Z. B., Çağatay, M. N., Sakiç, M., Oflaz A., Tunoğlu, C., & Salihoğlu, R. (2020). Redating the formation of Lake Bafa, western Turkey: Integrative geochronological methods and new environmental and dating evidence. *Geochronology* 35(5), 659–677. <https://doi.org/10.1002/gea.21791>

Aksu, A. E., Piper D. J. W., & Konuk T. (1987). Quaternary growth patterns of Büyük Menderes and Küçük Menderes deltas, western Turkey. *Sedimentary Geology* 52(3), 227–250. [https://doi.org/10.1016/0037-0738\(87\)90063-7](https://doi.org/10.1016/0037-0738(87)90063-7)

Brückner, H., Herda, A., Kerschner, M., Müllenhoff, M., & Stock, F. (2017). Life cycle of estuarine islands — From the formation to the landlocking of former islands in the environs of Miletos and Ephesos in western Asia Minor (Turkey). *Journal of Archaeological Science: Reports* 12, 876–894. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2016.11.024>

Cahill, N., Rahmstorf, S., & Parnell, A. C. (2015). Change points of global temperature. *Environmental Research Letters* 10(8), 084002. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/10/8/084002>

Denwood, M. J. (2016). runjags: An R package providing interface utilities, model templates, parallel computing methods and additional distributions for MCMC models in JAGS. *Journal of Statistical Software* 71(9), 1–25. <https://doi.org/10.18637/jss.v071.i09>

Flint, R. F., & Deevey, E. S. (1962). Editorial statement. *Radiocarbon* 4, i–ii.

Gallagher, K., Bodin, T., Sambridge, M., Weiss, D., Kylander, M., & Large, D. (2011). Inference of abrupt changes in noisy geochemical records using transdimensional changepoint models. *Earth and Planetary Science Letters* 311(1), 182–194. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2011.09.015>

Knipping, M., Müllenhoff, M., & Brückner, H. (2008). Human induced landscape changes around Bafa Gölü (western Turkey). *Vegetation History and Archaeobotany* 17(4), 365–380. <https://doi.org/10.1007/s00334-007-0132-8>

Kruschke, J. K. (2015). *Doing Bayesian Data Analysis*. (2nd ed.). Academic Press. <https://www.sciencedirect.com/book/9780124058880/doing-bayesian-data-analysis?via=ihub=>

Lindeløv, J. K. (2020). mcp: An R package for regression with multiple change points. *OSF Preprints*. <https://doi.org/10.31219/osf.io/fzqxv>

Mozafari, N., Sümer, Ö., Tikhomirov, D., Ivy-Ochs, S., Alfimov, V., Vockenhuber, C., İnci, U., Sözbilir, H., & Akcar, N. (2019). Holocene seismic activity of the Priene-Sazlı Fault revealed by cosmogenic ³⁶Cl, western Anatolia, Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences* 28(3), 410–437. <https://doi.org/10.3906/yer-1810-6>

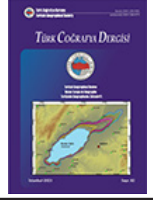
Müllenhoff, M., Handl, M., Knipping, M., & Brückner, H. (2004). The evolution of Lake Bafa (Western Turkey): Sedimentological, microfaunal and palynological results. *Coastline Reports* 1(2004), 55–66.

Ön, Z. B. (2023). A Bayesian change point analysis re-examines the 4.2 ka BP event in southeast Europe and southwest Asia. *Quaternary Science Reviews*. 312, 108163. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2023.108163>

Ön, Z. B., Greaves, A. M., Akçer-Ön, S., & Özeren M. S. (2021). A Bayesian test for the 4.2 ka BP abrupt climatic change event in southeast Europe and southwest Asia using structural time series analysis of paleoclimate data. *Climatic Change* 165(7), 1–19. <https://doi.org/10.1007/s10584-021-03010-6>

Ön, Z. B., Macdonald, N., Akçer-Ön, S., & Greaves, A.M. (2023). A novel Bayesian multilevel regression approach to the reconstruction of an eastern Mediterranean temperature record for the last 10,000 years. *The Holocene* 33(7), 807–815. <https://doi.org/10.1177/09596836231163508>

- Plummer, M. (2003, March 20-22). JAGS: A program for analysis of Bayesian graphical models using Gibbs sampling [Conference presentation abstract]. Proceedings of the 3rd international workshop on distributed statistical computing, Vienna, Austria. <https://www.r-project.org/conferences/DSC-2003/Proceedings/Plummer.pdf>
- R Core Team (2023). : *A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>
- Salihoğlu, R. & Akçer-Ön, S. (2020, November 15-20). Holocene environmental changes at Bafa Lake (SW Anatolia) according to ostracod and benthic foraminifer distribution [Conference presentation abstract]. 21th Paleontology-Stratigraphy Workshop Pandemia special, Turkey, pp. 52–53.



Burdur Gölü'nde uzun dönemli kıyı çizgisi değişimleri ve iklim ilişkisi: Zamansal-mekânsal eğilimler ve tahminler

*Long-term coastline changes and climate relationship in Burdur Lake:
Spatio-temporal trends and forecasts*

Çağan Alevkayalı ^{a*} Yıldırım Atayeter ^a Onur Yayla ^b Tuğçe Bilgin ^b Hasan Akpınar ^b

^a Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Isparta, Türkiye.

^b Süleyman Demirel Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Coğrafya Anabilim Dalı, Isparta, Türkiye.

ORCID: Ç.A. 0000-0001-7044-8183; Y.A. 0000-0002-7570-2993; O.Y. 0000-0002-8710-3701; T.B. 0000-0003-1883-3193; H.A. 0000-0002-8066-7459

BİLGİ / INFO

Geliş/Received: 26.04.2023

Kabul/Accepted: 29.05.2023

Anahtar Kelimeler:

Burdur Gölü
Klimatik eğilimler
Klimatik tahminleme
SARIMA
DSAS
Kıyı çizgisi değişimi

Keywords:

Burdur Lake
Climatic trends
Climatic forecasting
SARIMA
DSAS
Shoreline changes

*Sorumlu yazar/Corresponding author:

(Ç. Alevkayalı)

caganalevkayali@sdu.edu.tr

DOI: 10.17211/tcd.1287976



Atf/Citation:

Alevkayalı, Ç., Atayeter, Y., Yayla, O., Bilgin, T., & Akpınar, H. (2023). Burdur Gölü'nde uzun dönemli kıyı çizgisi değişimleri ve iklim ilişkisi: Zamansal-mekânsal eğilimler ve tahminler. *Türk Coğrafya Dergisi*, (82), 37-50.

<https://doi.org/10.17211/tcd.1287976>

ÖZ / ABSTRACT

Burdur Gölü, Türkiye'nin güneyinde Toros Dağları kuşağının batısında Göller yöresi olarak adlandırılan bölgede yer alan pek çok türe ev sahipliği yapan önemli sulak alanlarından biridir. Burdur Gölü kapsamında yürütülen birçok çalışmada göl aynasının son yıllarda hızlı bir daralma eğilimi içerisinde olduğu ifade edilmektedir. Bu çalışmanın amacı Burdur Gölü su yüzey alanındaki mekânsal değişimleri (1986-2022) ortaya koymak ve Burdur Gölü Havzasında uzun yıllık iklim kayıtlarındaki (1940-2021) eğilimlerin mevcut kayıtlar üzerinden incelenerek göl aynasının gelecekteki durumu hakkında tahminler yürütmektir. Bu amaçla iklim parametrelerindeki tahminler Mann-Kendall Eğilim testi ile iklim parametrelerinin 10 yıllık tahmini değerleri SARIMA yönteminden yararlanılarak gerçekleştirilmiştir. Burdur Gölü kıyı değişimleri ve bu değişimlere yönelik tahmin uygulamaları da DSAS aracı ile gerçekleştirilmiştir. Burdur Gölü'ne en yakın meteoroloji istasyona ait aylık ve yıllık veriler incelendiğinde yıllık ve aylık yağış miktarında istatistiksel olarak anlamlı eğilimler belirlenmemiştir. Diğer yandan aylık ve yıllık maksimum sıcaklık verilerinde anlamlı artış eğilimi test edilmiştir. İklim parametreleri kapsamında SARIMA yöntemi ile yapılan tahminlerde aylık maksimum ve aylık ortalama sıcaklıklarda 10 yıl ileride yaklaşık 1 CO'lık artış olacağı öngörülmüştür. Burdur Gölü kıyı çizgisi değişimleri ile yapılan analizlere göre su yüzey alanındaki daralmanın 10 yıl sonra bugünkü ayna alanının 17 km² daha daralacağı tahmin edilmektedir. Bu çalışmada göl yüzeyindeki daralmanın devam edeceği ve iklim değişikliğinin bir geri besleme mekanizması oluşturarak bu değişimi hızlandıracağı çıkarımına varılmıştır.

Burdur Lake is one of the important wetlands biotope located in the region called the Göller region in the south of Turkey. In many studies carried out within the scope of Burdur Lake, it is stated that the lake mirror had been in a rapid contraction trend in recent years. The aim of this study is to reveal the spatial changes in the Burdur Lake water surface area (1986-2022) and to make predictions about the future state of the lake mirror by using some climate parameters and also examining the trends in the long-year climate records in the Burdur Lake Basin. The estimations in climate parameters were made using Mann-Kendall Trend test and 10-year prediction values of climate parameters estimated by SARIMA method. The coastal changes of Burdur Lake were carried out with the DSAS tool. A statistically significant trend wasn't determined in the monthly and annual precipitation data at the Burdur Lake station. On the other hand, a significant increase trend in monthly and annual maximum temperatures was tested. In the predictions made with the SARIMA method, an increase of 1 degree was determined in the monthly and annual maximum temperatures. According to the estimates here, it is predicted that Burdur Lake will narrow by 17 km² in 10 years. In this study, it was concluded that the shrinkage of the lake surface will continue and climate change will accelerate this change by creating a feedback mechanism.

Extended Abstract

Introduction

In recent years, it is known that there are negative (decreasing) movements on the shoreline of many lakes in this region, which is called the "Lake Region" in the southwestern part of Turkey and shows the characteristics of a closed basin, that is, there are narrowings on the water surfaces of the lakes. The changes in climate and environmental conditions can cause shoreline movements in lake systems. The shrinkage in the water surface of Lake Burdur has reached significant dimensions in the last 20 years. Although the decline in the lake shoreline in the Burdur Lake basin is caused by changes in temperature, precipitation, drought events and agricultural production-related water use, it is known that the extinction process of the lake is especially due to climate change. It is extremely important for the sustainability of the water present in the environment to make predictions about the relationship of these processes with the climate as well as the spatial processes in explaining the climate change and the shrinkage process in the lake mirror. The aim of this study is to reveal the spatial changes (1986-2022) in the water surface area of Burdur Lake (shoreline) and to make predictions about some climate parameters and the future state of the lake mirror by using the trends in the long-year climate records (1940-2021) in the Burdur Lake Basin.

Data and Method

In this context, the Mann-Kendall Trend test was used to determine the trends in climate data, the future predictions in climate data were made with the SARIMA method and the changes in the coastline were carried out with the Geographic Information Systems Based DSAS tool.

Results and Discussion

In this study, it was not tested that there is no statistically significant trend in the annual changes of the climate parameters kept in Burdur Meteorology Observation Station, monthly total precipitation, monthly average temperature and monthly minimum temperature values. On the other hand, statistically significant positive trends were determined at the 95% confidence interval at monthly maximum temperatures. Significant results were obtained from the seasonal and non-seasonal statistical approaches of the SARIMA method, the moving average and autoregressive coefficients, and the predictions made on the monthly and annual total precipitation (2,1,0) (0,2,12) model. According to these results, it is predicted that the precipitation will be close to 0 mm in the summer months and around 70 mm in the winter months. Looking at the annual total precipitation forecasts, which is another indicator of precipitation, it is seen that the annual total precipitation will be between 350 mm and 400 mm for the next 10 years, and these estimates are similar to the current average annual precipitation. According to the results obtained in this study, with the results obtained from the long-term data, it was determined that the decreasing trend of the lake surface area stopped and increased slightly in 2003 and 2015. Spatial estimations were made with the help of DSAS, taking into account these 36-year changes in Burdur Lake. According to the findings here, there was a regression of more than 2251 meters in ¼ of the lake shoreline. Half of the lake shoreline has regressed

by at least 550 and at most 2025 meters. According to the Linear Regression Ratio determined on the shore, the highest rate of change in the shoreline between the years mentioned in Burdur Lake occurred from the northeastern shore of the lake with 410% and the least change was 0.93% in the high mass near Karakent. These estimates show that the Burdur Lake mirror will be 102 km² in 10 years. However, when the precipitation data are examined in this context, extreme precipitation occurred in 2003 and 2015, and with these precipitations, the decrease in agricultural water consumption and the increase in the water coming into the lake, the decrease in the lake level stopped and an increase in the level was observed. This shows that the changes in Burdur Lake mirror are related to precipitation. On the other hand, although the decreasing trend in the Burdur Lake mirror is related to the climate, it is clearly understood that this contraction process increases with anthropogenic processes. The lake sediments, which lost their capillarity on the shore of Burdur Lake and were purified from the water within, prepared the environment for severe dust storms by the wind. It is inevitable that these dust movements, which occur as a result of the level drops in the lake, have negative consequences on the city and people. This situation, confronts us with very different problems in different examples in the world (Aral Sea, etc.), and the subject of human relations is the title of a separate study topic in itself.

1. Giriş

Buharlaşma ve sızma olayı ile dengelenen yüzey sularının topoğrafik engelleri aşamaya karalarla çevrili bir depolama alanında biriktiği ve genellikle bir göl oluşturduğu kapalı havzaların çoğu kurak ve yarı-kurak bölgelerde yer almaktadır (Wang vd., 2018). Dünya yüzey sularının önemli bir kısmını oluşturan bu göller, biyoçeşitliliği ve kültürel mirası destekleyen ekosistemin temel öğelerinden biridir (Tulan Işıldar & Yalçın Çoşkun, 2021). Bu göller; su kaynaklarının aşırı kullanımı, hızlı nüfus artışı ve iklim değişikliği gibi etkenler tıpkı Aral Gölü (Klein vd., 2014), Urmiye Gölü (Tourian vd., 2015) ve Çad Gölü'nde (Alfa vd., 2008) olduğu gibi yok olma tehlikesi ile karşı karşıyadır (Li vd., 2018). Bilim dünyası bu göllerin yok olma sürecinin izlenmesinde su seviyeleri değişimleri ve kıyı çizgisi hareketleri gibi çeşitli süreçleri takip ederek ortamdaki gelişmeleri takip etmektedir.

Dünyanın birçok yerinde olduğu gibi Türkiye'de göllerin su seviyelerini konu alan birçok çalışma bulunmaktadır. 1959-2002 yılları arasında Türkiye'nin 25 önemli gölünde su seviyesinin incelendiği bir çalışmada harmonik analizlerden yararlanılarak 5 önemli gölün (Göhlhisar (Burdur), Eber-Akşehir (Afyonkarahisar), Timraş ve Konya Obruğu gölleri (Konya) su seviyelerinde azalma eğilimleri olduğu belirlenmiştir (Cengiz & Kahya, 2011). Türkiye'nin önemli tatlı su göllerinden Eğirdir Gölü ile ilgili bir çalışmada 1986-2016 yılları arasında göl seviyesinde istatistiksel olarak anlamlı azalış belirlenemezken (Keskin vd., 2017), daha uzun yıl aralığının (1943-2005) kullanıldığı bir diğer çalışmada Burdur, Eğirdir, Sapanca ve Tuz göllerinin su seviyelerinde istatistiksel olarak anlamlı azalış tespit edilmiştir (Göncü vd., 2017). Göllerin su seviyeleri ile ilgili istatistiksel çalışmalar genellikle veri serilerinin eğilimlerin belirlenmesi ve tahminler yürütülmesine odaklanırken Uzaktan Algılama (UA) teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte uydu görüntülerinden yararlanılarak

göllerin su yüzey alanlarındaki değişimler yüksek doğrulukta belirlenebilmektedir (Firatlı vd., 2022).

Göl su yüzey alanının ve kıyı çizgisi hareketinin belirlenmesinde uydu görüntülerinin spektral bandlar yardımı ile uygulanan Normalleştirilmiş Fark Su İndeksi (NFSI) ve Modifiye Normalleştirilmiş Fark Su İndeksi (MNFSI) en bilinen yöntemlerdendir (Küçük & Sarp, 2021). Kıyı çizgisi, meteorolojik olaylara göre değişebilen kara ile denizi (su kütesini) birbirinden ayıran, sabit olmayan sınırdır (Eriç, 2012). Göllerdeki kıyı çizgisi değişimi, negatif veya pozitif su bilançosu nedeniyle su yüzeyindeki yükselmelerle göl aynasının kara yönünde ilerlemesi ve su seviyesinin gerilediği durumlarda su yüzeyinin daralması şeklinde gerçekleşmektedir (Turoğlu, 2017). Bu durum uydu görüntülerinde yararlanılarak elde edilen farklı yıllara ait kıyı çizgileri Türkçe karşılığı "Dijital Kıyı Çizgisi Analiz Sistemi" olan DSAS (Digital Shoreline Analysis System) aracı yardımı ile Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yaklaşımlarıyla mekânsal düzeyde analiz edilmektedir (Baig vd., 2020; Yue & Liu, 2019). Akşehir Gölünde bu yöntemle yapılan bir çalışmada göl yüzey alanının merkeze doğru daralma gösterdiği belirlenmiş ve bu göldeki en önemli değişimin kuzeybatı ile kuzeydoğu yönlü olduğu ortaya konulmuştur (Kale, 2018a). Bu yöntem yardımı ile kıyı çizgisindeki değişimlerin mekânsal eğilimleri belirlenmesinin yanında 10 ile 20 yıllık tahminler de yürütülebilmektedir (Himmelson vd., 2018). Böylece bu yöntemler yardımı ile göl ve sulak alanlarındaki su yüzeyi değişimleri mekânsal düzeyde incelenebilmektedir.

Son yıllarda Türkiye'nin güneybatısında "Göller Yöresi" olarak adlandırılan ve kapalı havza özelliği gösteren bu yörede birçok gölde kıyı çizgisinde negatif yönlü (azalan) hareketlerin olduğu yani göllerin su yüzeylerinde daralmalar meydana geldiği bilinmektedir (Altan Aydın & Doğu, 2018; Bahadır, 2013; Dönmez, 2018; Narin & Abdikan, 2022). Göller Yöresi'ndeki göllerden Salda (Dereli & Tercan, 2020), Burdur (Sarp & Özçelik, 2017), Eğirdir (Aslan & Koç San, 2021), Acıgöl (Sabuncu, 2020), Karataş (Narin & Abdikan, 2022) ve Yarıslı (Aksoy vd., 2019) göllerinin su yüzey alanlarının daraldığı yani göl kıyı çizgilerinde gerilemeler olduğu tespit edilmiştir. Göller Yöresi'nin alan bakımından en büyük göllerinden biri olan Burdur Gölü Ramsar Sözleşmesi ile Yaban Hayatı Geliştirme Sahası statüsünde de olmasına karşın su yüzey alanında büyük çekilmelerin olmasından dolayı oldukça dikkat çekicidir (Ataol, 2010). Burdur Gölü'nün su yüzeyindeki daralmaların son 20 yılda önemli boyutlara ulaştığını ortaya konulduğu birçok çalışma bulunmaktadır (Sarp & Özçelik 2017; Şener, 2016; Yıldırım & Uysal, 2012). Son dönemde uygulanan çalışmalarda Burdur göl aynasının kapladığı alanın 1984-2019 yılları arasında 206,6 km²'den 125,5 km²'ye gerilediği belirlenerek bu değişimin sadece taban suyundan çekilerek yapılan sulamadan kaynaklanmadığı bu durumun sıcaklıkların artışı ile de ilişkili olduğu ifade edilmektedir (Abujayyab vd., 2021). Burdur Gölü su yüzeyindeki bu değişimleri uzun yıllık bazı meteorolojik olaylarla ilişkili farklı yöntemlerle test edilmiştir (Davraz vd., 2019; Albarqouni vd., 2022). Burdur Gölü havzasında göl kıyı çizgisindeki gerileme hareketine sıcaklık, yağış, kuraklık olaylarındaki değişim ve tarımsal üretim kaynaklı su kullanımları neden olsa da mevcut iklim modelleri gölün yok olma sürecinin özellikle iklim değişikliği nedeniyle hızlandığı ileri sürülmektedir (Çolak vd., 2022). İklim ve çevresel koşullardaki bu değişimler göl sistemlerinde kıyı çizgisi hareketlerine neden olabilmektedir. İklim değişikliği

ve göl aynasındaki daralma sürecinin açıklanmasında mekânsal süreçler kadar bu süreçlerin iklimle olan ilişkilerine yönelik tahminler yapılması ortamdaki su varlığının sürdürülebilirliği açısından son derece önemlidir.

Günümüzde dünyadaki İklim ve su sistemlerine yönelik tahminler, su rezervlerini korumak ve su kaynaklarının gelecekteki varlığı hakkındaki belirsizlikleri azaltmak için yapılmaktadır (Mahmood vd., 2019). Küresel Isınma kavramını teorik söylemlerinin kanıtlarla desteklemek adına birçok akademik çalışma Küresel İklim Değişikliğinin su kaynakları üzerindeki etkileri tahmin etmeye odaklanmıştır (McBean & Motiee, 2008). Benzer amaçlarla Türkiye'de Van Gölü (Kuzay & Tonmu, 2020), Eğirdir (Tağıl & Alevkayalı, 2014) ve Tuz Gölü (Akın, 2019) gibi önemli kapalı havzalarda yer alan göllerde çeşitli iklim parametrelerindeki eğilimler test edilmiştir. Bahsi geçen çalışmalarda göl seviyesi verileri ve iklim verileri şeklindeki zaman serileri Mann-Kendall eğilim testinden yani istatistiksel yaklaşımlardan yararlanılarak gerçekleştirilmiştir. Su ile ilgili arz-talep dengesinin sağlanmasında geleceğe yönelik kestirimler ise iklim parametrelerine ait veri serileri üzerinden çeşitli yöntemlerle yapılmaktadır. Bu konuda doğrusal eğilim testi gibi deterministik yaklaşımlar (Kale, 2018b), otoregresif hareketli ortalamalar (autoregressive integrated moving average-ARIMA) ve sezonluk otoregresif hareketli ortalamalar (seasonal autoregressive integrated moving average SARIMA) modelleri olarak adlandırılan stokastik süreçler (Topçuoğlu vd., 2005) ve yapay sinir ağları (Yıldırım & Kandemir, 2018) gibi farklı yaklaşımlarla uygulamalar gerçekleştirilmektedir. SARI-MA, istatistiksel sezon varsayımına dayalı otomatik gerileyen tümeleşik hareketli ortalama şeklinde açılıma sahip bu yöntem zaman serilerinin mevcut değerlerini dikkate alarak iklim ve birçok amaç için tahminler yürütmeye yarayan durağan olmayan doğrusal stokastik bir modelleme yöntemidir (Aksoy & Salman, 2020). Bu sınırdaki değişimlerin belirlenmesi ve kıyı çizgisi hareketlerinin yorumlanması iklim ve kıyı çizgisi hareketlerinin açıklanması açısından önem taşımaktadır. Kıyı çizgisi hareketleri, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) aracılığıyla vektör kesitlerden yararlanılarak Kıyı Çizgisi Sayısal Değişim Analizi (Digital Shoreline Analysis Systems) ile belirli bir zaman aralığında değişim yönü istatistiksel olarak belirlenebilmektedir (Turoğlu & Duran, 2021). Bu çalışmanın amacı çok sayıda çalışmanın yapıldığı Burdur Gölü su yüzey alanındaki (kıyı çizgisi) mekânsal değişimleri (1986-2022) ortaya koymak ve Burdur Gölü Havzasında uzun yıllık iklim kayıtlarındaki (1940-2021) eğilimlerden yararlanılarak bazı iklim parametreleri ve göl aynasının gelecekteki durumu hakkında tahminler yürütmektir. Böylece Göller Yöresinde yok olma eğilimindeki kapalı havza göllerine önemli bir örnek oluşturan Burdur Gölü aynasındaki değişimler ve iklim parametrelerine ait veri serilerinin zamansal ve mekânsal eğilimleri belirlenerek çalışmanın son bölümünde iklim parametrelerinde ve Budur Göl aynasına yönelik 10 yıllık tahminler yapılmıştır. Daha sonra bu sonuçlardan yararlanılarak bölgenin iklim ve göl aynasındaki değişimlerin arazi bozulmasına olan etkisi değerlendirilmiştir.

2. Malzeme ve Yöntem

2.1. Çalışma Alanı

Bu çalışma Türkiye'nin önemli sulak alanlarından olan Göller Bölgesinin içerisindeki en büyük göllerden biri olan Burdur Gölü'nün göl yüzey alanında gerçekleştirilmiştir (Şekil 1). Burdur

Gölünün yakın çevresine göre bir grabenin içerisinde kapalı havza olarak bulunması ile iklim parametrelerinden ve antropojenik etkenlerden sürekli etkilenecek kuruma sürecine girmesi gelecekteki durumuna ilişkin merakları artırmaya yönelik tahminleri de beraberinde getirmektedir. Çalışma alanı 37°33'28.33" N - 37°54'40.78" N enlemleri ile 29°56'46.77" E - 30°24'57.14" E boylamları arasında yer almaktadır.

Çalışma alanında değişik boyutlarda çok sayıda akarsu olmakla birlikte bu alanın en önemli akarsuları batıda Eren çayı, güneyden Büğdüz, Asar ve Değirmen dereleri, doğudan Keçiborlu çevresinden katılan Eskiçay, Ulu ve Yağarcık dereleri ile kuzeybatıdan göle ulaşan Ulupınar deresi sularını Burdur Gölü'ne ulaştıran önemli hidrografik unsurlar olarak görülmektedir (Atayeter vd., 2022).

Çalışma sahasını çoğunlukla Jura Triyas yaşlı birimlerden meydana gelmektedir. Ancak özellikle Burdur Gölü ve çevresi etrafındaki akarsular tarafından taşınan siltasyon ve sedimanların göl tabanında birikmesi ile yaşlı eski ve yeni alüvyonların yanı sıra Pliosen yaşlı kumtaşları ve çakıltaşlarının da alanda oldukça geniş alan kapladığı görülmektedir (MTA, Atayeter & Tokgözlü, 2014; Atayeter vd., 2022).

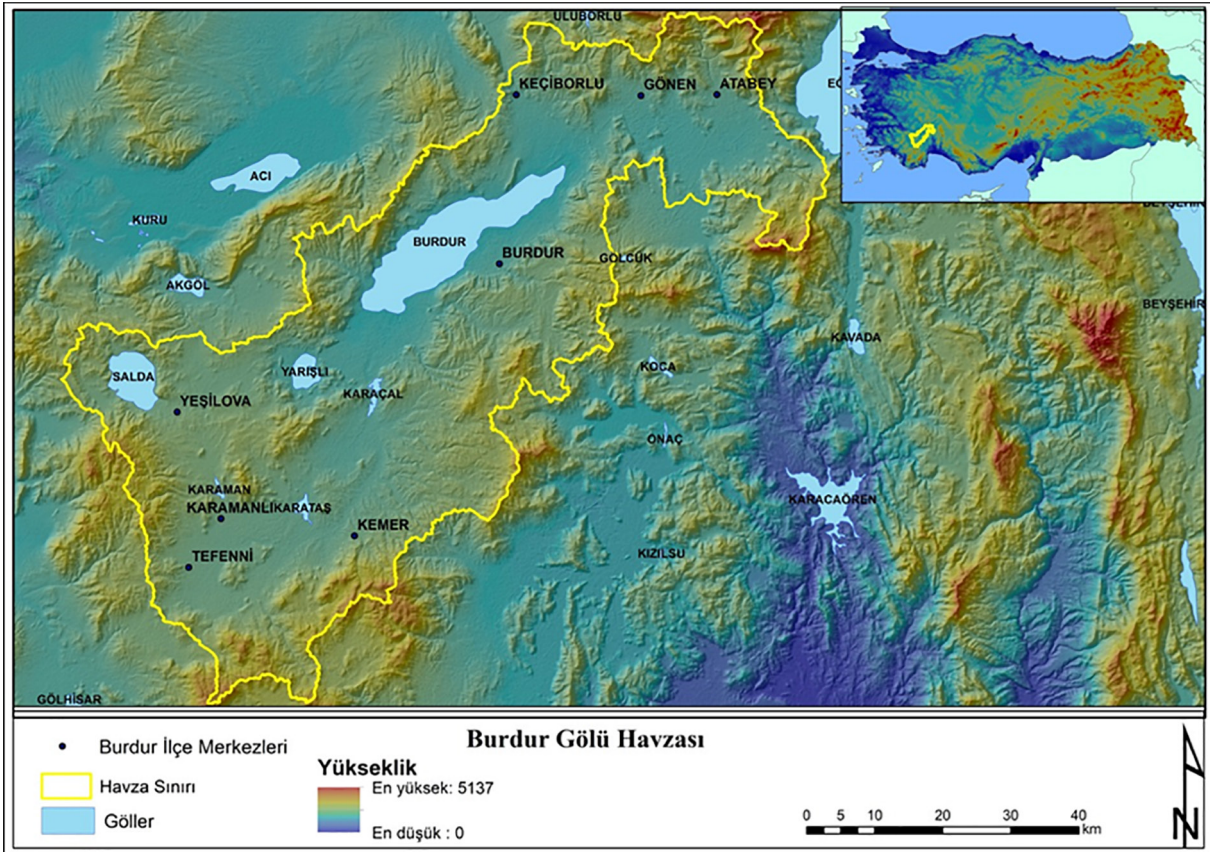
Önceki bölümde de bahsedildiği gibi Burdur Gölü kuzey ve güneyinde aktif faylarla kontrol edilen tektonik bir grabenin içerisinde gelişim göstermektedir. Göl zaman içerisinde transgresif ve regresif süreçlerle depolarını istiflemiş ve yerel kaide seviyesi oluşturması bakımından Burdur Gölü'ne doğru topoğrafyayı şekillendirmiştir. Burdur Gölü çevresindeki akarsular aşındırdıkları malzemeyi kademeler halinde Burdur Gölü çevresinde eski ve yeni alüvyonlar olarak istifleyerek birikinti ova-

ları ve yer yer göl kıyısında deltalar meydana getirmiştir (Atayeter & Tokgözlü, 2014; Atayeter vd., 2022). Çalışma alanındaki toprakların büyük çoğunluğunu Kestane rengi topraklar ve kahverengi orman toprakları oluşturmaktadır. Bu toprakların yanında yer yer alüvyal, kolüvyal, hidromorfik, organik topraklar ve Kırmızı Akdeniz toprakları da yer almaktadır (Atalay, 2007; Atayeter & Tokgözlü, 2014). Çalışma alanının zengin bir vejetasyona sahip olduğu görülmektedir. Yükselti değerlerine göre farklılık göstermekle birlikte genel olarak Akdeniz florasına ait türler bitki örtüsünü oluşturmaktadır. Gelişim şartlarının uygun olduğu alanlarda maki, çalı ve step türleri (Sungur, 1978) yer almakla birlikte Ardıç (*Juniperus*), Meşe (*Quercus*), Fıstık Çamı (*Pinus pinea*), Karaçam (*Pinus nigra*), Kızılçam (*Pinus brutia*), Sedir (*Cedrus libani*), Kermes Meşesi (*Qercud coccifera*) gibi ağaç türleri yer almaktadır (Atayeter & Tokgözlü, 2014).

2.2. Mann- Kendall Eğilim Testi

Bir bölgedeki iklim değişikliğinin belirlenmesinde en fazla kullanılan iklim elemanları sıcaklık ve yağıştır. Bu iklim elemanları zamana ve mekâna bağlı olarak sürekli değişim halindedir. Sıcaklık ve yağışın aylık ve yıllık veri setlerindeki önemli artış ve azalışlarının tespit edilmesinde pek çok çalışmada parametrik olmayan Mann-Kendall yöntemi kullanılmıştır (Karabulut, 2012; Tağlı & Alevkayalı, 2014; Gocic & Trajkovic, 2013; Kızılelma vd., 2015; Topuz vd., 2016; Polat & Sunkar, 2017; Topuz vd., 2018; Alahacoon vd., 2018; Topuz vd., 2021). Bu test ile bir zaman serisinde eğilim olup olmadığı Formül 1'deki süreci kullanarak gerçekleştirilir (Wang vd. 2020):

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sign}(x_j - x_i) \quad (1)$$



Şekil 1. Çalışma alanına ait lokasyon haritası.

Figure 1. Location map of the study area.

Bu formülde n veri sayısını, x ise i ve j (j>i) zamanlarındaki veriyi temsil eder. Bu yöntemin işaret fonksiyonu formül 2'deki gibi uygulanır:

$$\text{sign} = (x_j - x_i) = \begin{cases} +1 & \text{Eğer } (x_j - x_i) > 0 \\ 0 & \text{Eğer } (x_j - x_i) = 0 \\ -1 & \text{Eğer } (x_j - x_i) < 0 \end{cases} \quad (2)$$

S'nin varyansı aşağıda gösterildiği şekilde hesaplanır.

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

Burada, n veri setindeki tekrar gözlem sayıları, t_i değeri i uzunluğundaki bir seride tekrarlanan gözlemleri yani Z istatistiğini göstermektedir (Formül 4). Z test istatistiği n>10 için aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$z = \begin{cases} (S - 1) / \sqrt{\text{Var}(S)} & \text{Eğer } S > 0 \\ 0 & \text{Eğer } S = 0 \\ (S + 1) / \sqrt{\text{Var}(S)} & \text{Eğer } S < 0 \end{cases} \quad (4)$$

Mann-Kendall istatistik testi, Kendall'ın Tau olarak bilinen testinin özel bir uygulamasıdır (Kalaycı & Kahya, 1998). Parametrik olmayan verilerin belirli bir dağılıma uyması gerekmez ayrıca veri eksikliği durumunda da kullanışlıdır (Hirsch & Slack, 1984; Yu vd., 1993; Kalaycı & Kahya, 1998). Bu yöntem verilerin büyüklüğünden çok büyüklük sıraları ile ilgilenir (Kalaycı & Kahya 1998). Değerlerin pozitif olması artan yönde trendi; negatif olması azalan yönde trendi gösterirken, sonucun nötr olması orada herhangi bir trend olmadığı anlamına gelmektedir (Tağıl & Alevkayalı, 2014). H₀= "zaman serisinde eğilim yok" hipotezi ile dağılımın bağımsız olduğu şeklinde test edilmektedir. Bu hipotezin alternatif hipotezi ise H₁: "zaman serisinde tekdüze eğilim var" şeklinde ifade edilmektedir.

2.3. ARIMA-SARIMA

Box-Jenkins modeli olarak da bilinen ARIMA tek değişkenli zaman serilerinin ileriye dönük tahmininde kullanılan istatistiksel öngörü yöntemlerinden biridir (Kaynar ve Taştan, 2009). Bu modelde çalışmada kullanılacak olan zaman serilerinde durağanlık esas alınmaktadır. Ancak zaman serilerinin çoğunluğunda zaman süresince değişimler meydana gelmesi sebebiyle durağanlık söz konusu değildir. Durağan özellikte olmayan seriler fark alma yöntemi ile durağan hale getirilmesi ARIMA modelleri ya da "Durağan Olmayan Doğrusal Stokastik Modeller" olarak adlandırılan modeller ile gerçekleştirilmektedir. Durağan hale getirilmiş serilerin kullanılması daha doğru sonuçlara ulaşılmasını sağlamaktadır (Box & Jenkins, 1970; Bahadır & Saraçlı, 2010).

AR (Otoregresif), MA (Hareketli Ortalama) ve ARMA (Otoregresif-Hareketli Ortalama) modelleri durağan olmayan süreçler için uygulanırken ARIMA (otoregresif-hareketli ortalama) modeli ise durağan hale gelen süreçlere uygulanmaktadır (Kale, vd., 2016).

Mevsimsel ARIMA modeli (SARIMA), ARIMA modellerine mevsimsel terimler eklenerek oluşturulur. SARIMA modelinde (p, d, q) (P, D, Q) p mevsimsel olmayan bir otoregresif düzendir, P mevsimsel bir otoregresif düzendir, q mevsimsel olmayan bir hareketli ortalama düzendir, Q mevsimsel bir otoregresif düzendir, d ve D ortak farkın ve mevsimsel farkın sırasındadır (Pepple & Harrison 2017; Divisekara, vd., 2021).

2.4. Görüntü Oranlama Tekniği ve Kıyı Çizgisi Çıkarımı

Günümüzde gelişmiş ve gelişmeye devam eden uydu sistemleri dünyayı küresel olarak algılayabilmektedir. Bu durum uzaktan algılama ile yeryüzündeki değişimlerin belirlenebilmesini kolaylaştırmaktadır (Jensen, 2009). Uydu sistemleri aracılığıyla temin edilen bir görüntüyü oluşturan her bir bant farklı spektral aralığı temsil etmektedir (Mutlu vd., 2020). Görüntüyü oluşturan bu bantlar, tek bantta farklı gri tonlarında veya üç ayrı bantta renkli halde bulunmalarının yanı sıra farklı renk kombinasyonlarında da bulunabilmektedirler. Oranlama, görüntüyü oluşturan bir bandın sahip olduğu spektral aralığı temsil eden yansıma değerlerinin yani piksellerin diğer banttakine bölünmesi sonucu elde edilmektedir (Sabins, 1997; Başibüyük vd., 2014). Oranlanacak olan bantların seçimi uydu görüntüsüne ve çalışma alanına göre farklılıklar göstermektedir. Görüntülerin oranlanması ile alakalı genel kabul görmüş bir belirleme olmadığı için araştırmacılar literatürdeki çalışmalardan veya deneme yanılma yolu ile en iyi sonuca ulaştıkları bantlardan yararlanabilmektedirler (Koç vd., 2006).

Çalışmada Burdur Gölü yüzey alanındaki değişimler 1986-2022 yılları arasında kaydedilen Landsat 5 TM ve Landsat 8 OLI uydu görüntüleri ile incelenmiştir (Tablo 1). Burdur gölü kıyı çizgisi değişimlerinin belirlenmesinde görüntü oranlama teknikleri kullanılmıştır. Oran görüntülerinin elde edilmesinde NDWI ve MNDWI analizleri uygulanmıştır. Bu iki yöntem birçok çalışmada su yüzeyi ile kara yüzeyinin ayırt edilmesinde kullanılmaktadır (Kuleli vd., 2011; Sarp & Özcelik, 2017). Bu analizlerde kıyı çizgisi çıkarımı çok kolay olmadığından farklı bant kombinasyonları kullanılmıştır. NDWI analizinde Landsat 5 TM uydu görüntüsüne ait 2. ve 4. bantlar, Landsat 8 OLI uydu görüntüsüne ait 3. ve 5. bantlar kullanılırken MNDWI analizinde ise Landsat 5 TM uydu görüntüsüne ait 2. ve 5. bantlar, Landsat 8 OLI uydu görüntüsüne ait 3. ve 6. bantlar kullanılmıştır. Kıyı çizgilerinin çıkarılması sürecinde su ve kara yüzeyinin daha net ayırt edilmesi için yaz görüntülerine başvurulmuştur (Tablo 1).

2.5. DSAS (Digital Shoreline Analysis System)

Çalışmada Burdur Gölü kıyı değişiminin belirlenebilmesi için 1986 ve 2022 yıllarına ait Landsat 5 TM ve Landsat 8 OLI uydu görüntüleri kullanılmıştır (Dwyer vd., 2018). Landsat uydu görüntüsü verileri, kara ve deniz yüzeyi jeofizik özelliklerini gözlemlemek, ölçmek ve bunları ayırt etmek için sinoptik ve tekrarlayan veri kapsamına, spektral çözünürlük yeteneklerine sahiptir (Baig, vd, 2020). Bu nedenle Landsat uydu görüntüleri 1970'lerden beri kıyı bölgesi yönetimi ile ilgili çalışmalar için değerli olduğu kanıtlanmıştır (Moore 2000; Woodcock, vd, 2008; Mishra, vd, 2019; Baig, vd, 2020).

Kıyı değişim analizlerinin gerçekleştirilmesinde kullanılan Dijital Kıyı Şeridi Analiz Sistemi (DSAS), ESRI ArcGIS yazılımının normal işlevselliğini artıran ve kullanıcıların birden fazla kıyı şeridi konumundan oluşan bir zaman serisinden kıyı şeridi değişim oranı istatistiklerini hesaplamasına olanak tanıyan bir uzantıdır. Buradaki uzantı, tarihsel kıyı şeridi değişikliği analizine yardımcı olmak için tasarlanmıştır (Himmelstoss, vd., 2021). Ayrıca DSAS, kronolojik hava fotoğraflarındaki buzul sınırlarının değişimini veya arazi kullanımı/arazi örtüsü değişikliklerini değerlendirmek için de uygun bir analiz aracıdır (Thieler, vd., 2009; Baig, vd., 2020).

Tablo 1. Kıyı çizgisi çıkartma işlemleri için kullanılan uydu görüntüleri (Kaynak: Dwyer vd., 2018)**Table 1.** Satellite images used for shoreline extraction

Uydu	Görüntü Tarihi	Görüntü ID	Bulutluluk Oranı
LANDSAT 5 TM	22.07.1986	LT05_L1TP_178034_19860722_20200918_02_T1	0.00
	01.08.1987	LT05_L1TP_179034_19870801_20201014_02_T1	0.00
	12.08.1988	LT05_L1TP_178034_19880812_20211118_02_T1	0.00
	28.06.1989	LT05_L1TP_178034_19890628_20200916_02_T1	2.00
	08.07.1990	LT05_L2SP_179034_19900708_20200915_02_T1	0.00
	05.08.1991	LT05_L2SP_178034_19910805_20200915_02_T1	1.00
	30.08.1992	LT05_L2SP_179034_19920830_20200914_02_T1	0.00
	26.08.1993	LT05_L2SP_178034_19930826_20200913_02_T1	0.00
	20.08.1994	LT05_L2SP_179034_19940820_20201008_02_T1	0.00
	31.07.1995	LT05_L2SP_178034_19950731_20211122_02_T1	0.00
	02.08.1996	LT05_L2SP_178034_19960802_20200911_02_T1	0.00
	20.07.1997	LT05_L2SP_178034_19970720_20200910_02_T1	0.00
	24.08.1998	LT05_L2SP_178034_19980824_20200908_02_T1	0.00
	11.08.1999	LT05_L2SP_178034_19990811_20211205_02_T1	0.00
	28.07.2000	LT05_L2SP_178034_20000728_20200906_02_T1	0.00
	31.07.2001	LT05_L2SP_178034_20010731_20200905_02_T1	0.00
	18.07.2002	LT05_L2SP_178034_20020718_20200905_02_T1	0.00
	05.07.2003	LT05_L2SP_178034_20030705_20200905_02_T1	0.00
	23.07.2004	LT05_L1TP_178034_20040723_20200903_02_T1	0.00
	24.06.2005	LT05_L1TP_178034_20050624_20200902_02_T1	0.00
	30.08.2006	LT05_L1TP_178034_20060830_20200831_02_T1	1.00
	18.09.2007	LT05_L1TP_178034_20070918_20200830_02_T1	0.00
	18.07.2008	LT05_L2SP_178034_20080718_20200829_02_T1	0.00
	19.06.2009	LT05_L1TP_178034_20090619_20200827_02_T1	1.00
25.08.2010	LT05_L1TP_178034_20100825_20200823_02_T1	0.00	
27.07.2011	LT05_L1TP_178034_20110727_20200822_02_T1	0.00	
LANDSAT 8 OLI TIRS	02.09.2013	LC08_L1TP_178034_20130902_20200912_02_T1	5.55
	10.07.2014	LC08_L1TP_179034_20140710_20200911_02_T1	0.04
	30.08.2015	LC08_L1TP_179034_20150830_20200908_02_T1	0.10
	22.06.2016	LC08_L1TP_178034_20160622_20200906_02_T1	2.02
	11.07.2017	LC08_L1TP_178034_20170711_20200903_02_T1	0.87
	15.08.2018	LC08_L1TP_178034_20180815_20200831_02_T1	0.04
	08.07.2019	LC08_L1TP_179034_20190708_20200827_02_T1	0.04
	23.05.2020	LC08_L1TP_179034_20200523_20200820_02_T1	0.27
	29.07.2021	LC08_L1TP_179034_20210729_20210804_02_T1	0.02
	11.09.2022	LC08_L1TP_178034_20220911_20220921_02_T1	0.06

*2012 yılına ait Landsat verisi bulunmamaktadır.

Çalışmada kıyı şeridi değişim analizi, United State Geological Survey (USGS) tarafından geliştirilen bir ArcGIS yazılımı aracı olan DSAS'ın 5.1 sürümü kullanılarak oluşturulmuştur (Himmelstoss, vd., 2021). DSAS'ta istatistiksel bir teknik olan Son Nokta Oranı (SNO) kullanılmıştır. SNO, kıyı şeridi hareketinin mesafesinin ilk ve en son ölçümler arasında geçen süreye bölünmesiyle hesaplanmaktadır (Biag, vd., 2020).

2.6. Veri

Bu çalışmada Türkiye Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden (MGM) temin edilen Burdur, Tefenni ve Keçiborlu meteoroloji istasyonlarına ait ortalama, minimum, maksimum sıcaklık ve toplam yağış verileri kullanılmıştır (Tablo 2).

İstasyonlara ait uzun yıllar sıcaklık ve yağış verileri kullanılarak Burdur Havzası'nın iklim değişimine dair istatistiksel bir model oluşturulmuştur.

Tablo 2. Araştırma alanında kullanılan meteoroloji istasyonları, istasyonların rakım ve iklim verilerinin aralık tarihleri.**Table 2.** Meteorology stations used in the research area, the dates of the altitude and climate data of the stations.

Meteoroloji İstasyonu	Rakım (m.)	Veri Aralığı
Burdur	960	1940-2021
Tefenni	1152	1964-2021
Keçiborlu	1032	2014-2020

Kaynak: Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Ankara.

3. Bulgular

Çalışma alanında iklim parametrelerindeki değişimlerin açıklanmasında uzun yıllar iklim verilerinin kayıt edildiği, Burdur Gölü'ne en yakın meteoroloji ölçüm istasyonlarının verileri kullanılmıştır. Çalışmada Burdur, Tefenni ve Keçiörlü İstasyonlarına ait uzun yıllar aylık toplam yağış, aylık ortalama sıcaklık, aylık maksimum sıcaklık ve aylık minimum sıcaklık kayıtları incelenmiştir. Bu istasyonlar iklim parametrelerindeki değişimlerle karşılaştırılması anlamında da oldukça önemlidir.

Çalışmada belirtilen istasyonlardaki aylık sıcaklık (ortalama, minimum ve maksimum) ve yağışın, aylık ve yıllık veri setlerindeki önemli artış ve azalışlarının tespit edilmesinde parametrik olmayan Mann-Kendall istatistik testi kullanılmıştır. Bu araştırmada Burdur Meteoroloji Gözlem İstasyonunda tutulan iklim parametrelerinin yıllık değişimlerin aylık toplam yağış, aylık ortalama sıcaklık ve aylık minimum sıcaklık değerlerinde istatistiksel olarak anlamlı bir eğilim olmadığı test edilmemiştir (Tablo 3). Bu değerler Burdur Gölü'ne çok yakın konumda olan meteoroloji gözlem istasyonunda kaydedilen verilere göre aylık yağış miktarında önemli bir artış veya azalış eğilimi olmadığı hesaplanmıştır. Diğer yandan aylık maksimum sıcaklıklarda %95 güven aralığında istatistiksel olarak anlamlı pozitif yönlü eğilimler belirlenmiştir (Tablo 3). İklim parametrelerindeki istatistiksel eğilimler sadece Burdur gölü istasyonunda değil yakın çevrede konumlandırılan Keçiörlü ve Tefenni İstasyonlarında da test edilmiştir. Tefenni istasyonu veri serileri ile yapılan eğilim analizlerinde aylık maksimum ve minimum sıcaklıklarda anlamlı artış eğilimi olduğu tespit edilmiştir. Tefenni istasyonu rakım olarak Burdur istasyonundan daha güneyinde rakım olarak 200 metre civarı daha yüksekte konumlanmaktadır. Tefenni istasyonu çevresinde Burdur gölü gibi büyük bir su kütesinin bulunmaması minimum sıcaklık değerlerindeki artış eğilimine neden olan bir etki yaratması muhtemeldir. Bölgeye yakın diğer bir istasyon olan Keçiörlü istasyonunda sıcaklık ve yağış değerlerinde anlamlı artış veya azalış belirlenmemiştir (Tablo 3). Bu durumun en kuvvetli nedeni rasat süresinin oldukça sınırlı olmasıdır.

Burdur gölü ve çevresindeki iklim verilerinden elde edilen rasatlar yıllık düzeyde de eğilim açısından analiz edilmiştir. Yıllık

verilerde ortaya çıkan eğilimler aylık olarak istatistiksel olarak çözümlenemeyen verilerin sezon düzeyinde test edilerek açıklanması beklenmektedir. Bu istasyonlarda yıllık toplam yağış miktarında istatistiksel olarak anlamlı eğilim belirlenmemiştir. Bunun yanında yıllık ortalama sıcaklık ve yıllık maksimum sıcaklık değerlerinde istatistiksel olarak anlamlı eğilimler test edilmiştir (Tablo 4). Tefenni istasyonunda sıcaklık verileri yıllık düzeylerde incelendiğinde maksimum ve ortalama sıcaklık değerlerinde istatistiksel olarak anlamlı artış eğilimi olmaması yanında aylık veri serilerinde olduğu gibi yıllık düzeyde de minimum sıcaklık değerinde artış eğilimi olduğu görülmektedir (Tablo 4). Keçiörlü istasyonunda iklim parametrelerinin hiçbirinde istatistiksel olarak anlamlı artış ya da azalış hesaplanmamıştır.

Bu çalışmada Burdur gölü ile ilgili iklim parametrelerindeki eğilimler incelenmesinin ardından bu parametrelerdeki gelecekteki olası durumun ortaya çıkaracağı etkileri anlamak amacıyla 10 yıllık tahminler yapılmıştır. Bu tahminlerin yapılmasında stokastik yaklaşımlardan biri olan SARİMA yöntemi tercih edilmiştir. Bu yöntemle otoregresif ve hareketli ortalamaların çok sayıda farklı varyasyonu denenmesi kaydı ile en anlamlı sonucu veren kombinasyona ait tahminler dikkate alınmıştır. SARİMA yöntemi sezonluk ve sezonluk olmayan istatistiksel yaklaşımları hareketli ortalama ile otoregresif katsayılar ile aylık ve yıllık toplam yağış üzerine (2,1,0)(0,2,12) modeli ile gerçekleştirilen tahminlerden anlamlı sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre yağışların yaz aylarında 0 mm'ye yakın değerler alacağı, kış aylarında 70 mm civarında olacağı görülmektedir (Şekil 2a). Buradaki tahminle, rasat edilen veri serisine uygun bir biçimde artış veya azalış yönünde önemli bir değişikliğin olmadığına test edilmiştir. Ayrıca durağan olmayan doğrusal yaklaşımlarla modellenen aylık toplam yağış miktarında gelecekte ekstrem aylık toplam yağışlara yönelik tahminler yürütülmemiştir. Yağışla ilgili tahminlerden varılacak diğer bir bulgu geçmiş yıllarda olduğu gibi muhtemelen yağış azlığı yaşanacağı dönemlerin gerçekleşme ihtimali olduğu dikkat çekmektedir. Yağışla ilgili diğer bir gösterge olan yıllık toplam yağış tahminlerine bakıldığında yıllık toplam yağış miktarının gelecek 10 yıl için 350 mm ile 400 mm arasında olacağı ve bu tahminlerin mevcut ortalama yıllık toplam yağış ile benzer ancak bir miktar azalabileceği öngörülmektedir (Şekil 2b). Burdur Meteoroloji

Tablo 3. Burdur, Tefenni ve Keçiörlü Meteoroloji Gözlem İstasyonları aylık sıcaklık ve yağış eğilimleri.

Table 3. Monthly temperature and precipitation trends of Burdur, Tefenni and Keçiörlü Meteorological Observation Stations.

Aylık Sıcaklık ve Yağış Eğilimleri						
İstasyon	Parametre	Za/2 (+/-)	Z	Ortalama	H1 Hipotezi	Eğilim Yönü
Burdur MGİ (19411-2021)	Ortalama Sıcaklık	1.96	0.82	13.3	Ret	Artış veya azalış yok
	Maksimum Sıcaklık	1.96	2.56	25.4	Kabul	Artış var
	Minimum Sıcaklık	1.96	0.82	1.9	Ret	Artış veya azalış yok
	Yağış miktarı	1.96	-1.19	36.8	Ret	Artış veya azalış yok
Tefenni MGİ (1964-2021)	Ortalama Sıcaklık	1.96	1.38	11.8	Ret	Artış veya azalış yok
	Maksimum Sıcaklık	1.96	2.20	25.1	Kabul	Artış var
	Minimum Sıcaklık	1.96	2.63	0.5	Kabul	Artış var
	Yağış miktarı	1.96	-1.85	39.7	Ret	Artış veya azalış yok
Keçiörlü MGİ (2014-2020)	Ortalama Sıcaklık	1.96	-0.36	13.6	Ret	Artış veya azalış yok
	Maksimum Sıcaklık	1.96	-0.62	26.0	Ret	Artış veya azalış yok
	Minimum Sıcaklık	1.96	-0.21	3.1	Ret	Artış veya azalış yok
	Yağış miktarı	1.96	-0.35	43.1	Ret	Artış veya azalış yok

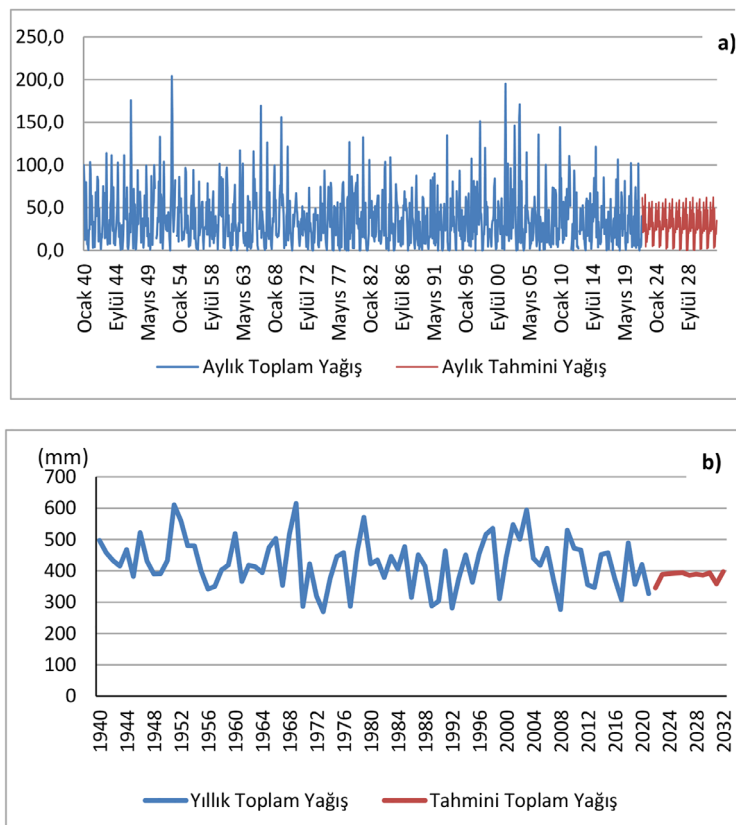
Tablo 4. Burdur, Tefenni ve Keçiborlu Meteoroloji Gözlem İstasyonları yıllık sıcaklık ve yağış eğilimleri.**Table 4.** Annual temperature and precipitation trends of Burdur, Tefenni and Keçiborlu Meteorological Observation Stations.

Aylık Sıcaklık ve Yağış Eğilimleri						
İstasyon	Parametre	Za/2 (+/-)	Z	Ortalama	H1 Hipotezi	Trend Yönü
Burdur MGI (1941-2021)	Ortalama Sıcaklık	1.96	2.45	13.3	Kabul	Artış var
	Maksimum Sıcaklık	1.96	3.43	37.2	Kabul	Artış var
	Minimum Sıcaklık	1.96	0.05	-9.8	Ret	Artış veya azalış yok
	Yağış miktarı	1.96	-1.89	420	Ret	Artış veya azalış yok
Tefenni MGI (1964-2021)	Ortalama Sıcaklık	1.96	1.74	8.4	Ret	Artış veya azalış yok
	Maksimum Sıcaklık	1.96	1.17	30.7	Ret	Artış veya azalış yok
	Minimum Sıcaklık	1.96	2.68	-13.1	Kabul	Artış var
	Yağış miktarı	1.96	-0.85	315	Ret	Artış veya azalış yok
Keçiborlu MGI (2014-2020)	Ortalama Sıcaklık	1.96	-0.19	13.8	Ret	Artış veya azalış yok
	Maksimum Sıcaklık	1.96	-0.19	37.1	Ret	Artış veya azalış yok
	Minimum Sıcaklık	1.96	0.19	-9.5	Ret	Artış veya azalış yok
	Yağış miktarı	1.96	-0,26	412	Ret	Artış veya azalış yok

İstasyonu uzun yıllık (1940-2021) toplam yağış ortalaması 424 olarak hesaplanmıştır. İlerleyen 10 yıla ait tahmini yıllık toplam yağış ortalaması ise 384 olarak tahmin edilmiştir (Şekil 2b).

Aylık ortalama, minimum ve maksimum sıcaklık verileri için yapılan tahminlerin tümünde (0,0,4)(6,2,0) SARİMA modeli istatistiksel olarak en anlamlı sonuçları vermiştir. Aylık sıcaklık verilerinden yararlanılarak yapılan 10 yıllık tahminlerde yağış verilerinden farklı olarak aylık ortalama, minimum ve maksimum sıcaklıklarda 1 veya 2 C°'lik artışlar olacağı dikkat çekmektedir (Şekil 3). Aylık sıcaklık verileri üzerinde yapılan tahminler soğuk ve sıcak dönemlerde aylık ortalama sıcaklık-

ların artacağını göstermektedir (Şekil 3a). Uzun yıllık verilere (1940-2021) göre aylık ortalama sıcaklık 13.2 C° olarak hesaplanmıştır. Aylık ortalama sıcaklık değerlerine yönelik 10 yıllık tahmin ortalaması ise 15.8 C° olarak belirlenmiştir. Aylık minimum ve maksimum sıcaklıklara yönelik yürütülen tahminlerde ise sıcak döneme ait sıcaklık değerlerinde genel olarak yaklaşık 1 C° artış olabileceği öngörülmektedir (Şekil 3b, Şekil 3c). Burdur İstasyonu verileri üzerinden yapılan hesaplamalarda uzun yıllık aylık minimum sıcaklık ortalamaları 1C° olup maksimum sıcaklık ortalaması 25 C°'dir. Burdur ile ilgili gelecekteki 10 yıl için aylık maksimum sıcaklık ortalamaları 27.5 C° olarak, aylık minimum sıcaklık ortalamaları ise 3 C° şeklinde tahmin

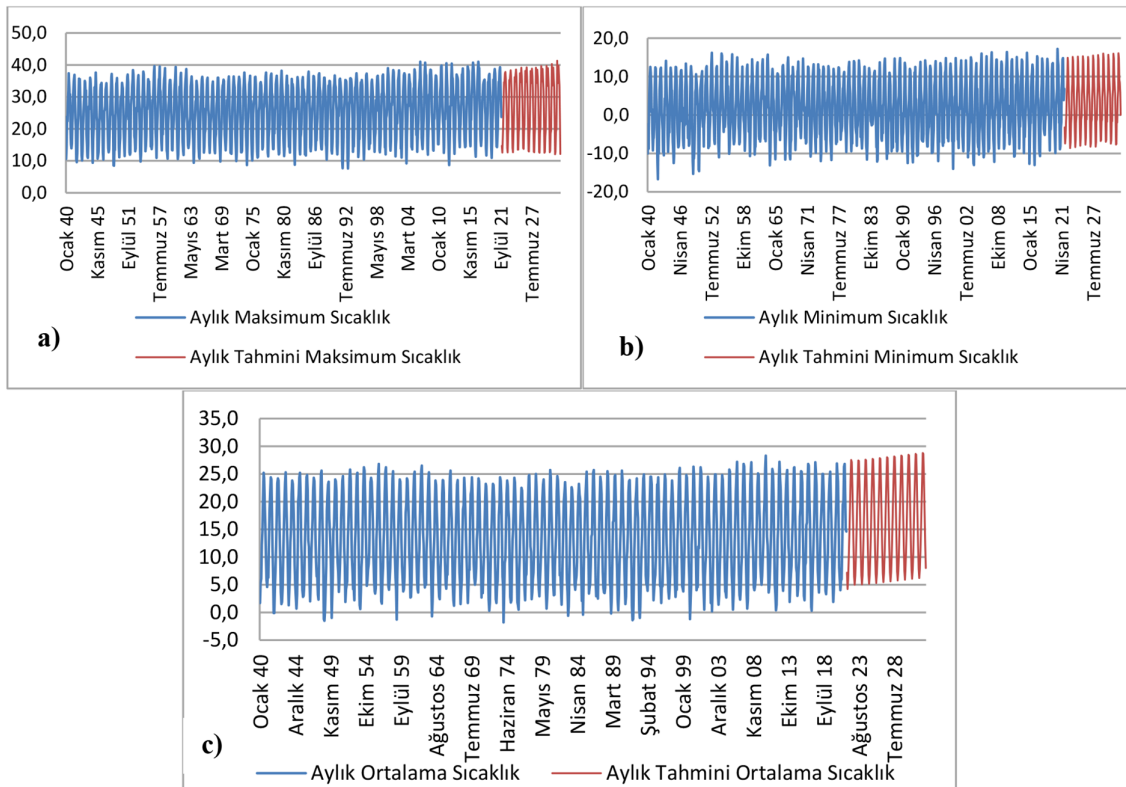
**Şekil 2.** a) Aylık toplam yağış miktarı ve tahmin değerleri b) yıllık toplam yağış miktarları ve tahmin değerleri.**Figure 2.** a) Monthly total precipitation amounts and estimation values b) Annual total precipitation amounts and estimation values.

yapılmıştır. Burdur Gölü yakınında konumlanan meteoroloji kayıtları ile yapılan analizler genel olarak sıcaklık değerlerinde artış eğiliminde olduğu ve buna paralel olarak geleceğe yönelik tahminlerinde artış yönlü olduğu dikkat çekmektedir.

Bu çalışmada iklim parametreleri düzeyindeki değerlendirmelerin yanında 1986-2022 yılları arası Burdur Gölü kıyı çizgisindeki değişimler de incelenmiştir. Böylece iklim parametrelerindeki eğilim ve değişim sürecinin Burdur Gölü su varlığına olan etkisinin tartışılması mümkün hale gelmiştir. Göl kıyısında en düşük kıyı hareketinin gerçekleştiği Karakent yerleşim yeri yakınlarındaki kıyı alanının yüksek bir kütle karşılık geldiği görülmektedir (Şekil 4). Kalkerden oluşan bu kütle üzerinde yapılan doğrulama çalışmalarında uydu görüntüsü ile belirlenen çekilme ile yersel ölçüm arasında 2 metrelik bir sapma olduğu belirlenmiştir (Şekil 4). Bu sapma oranı çalışmanın amaçları doğrultusunda belirlemek istediği değişimlerin öngörülmesi konusunda probleme neden olacak bir miktar veya oran değildir.

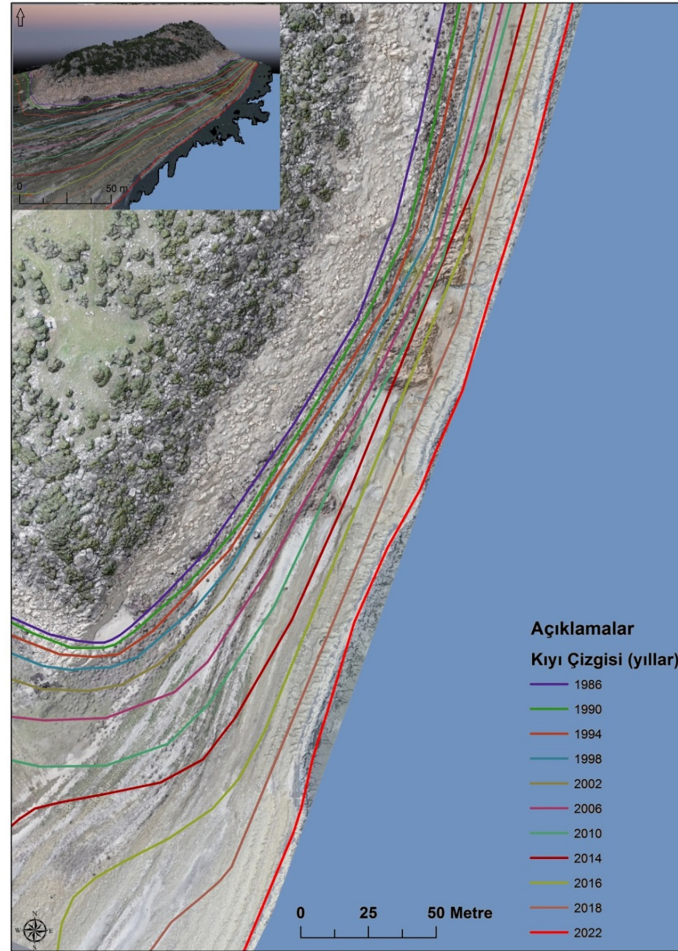
Burdur Gölü kıyı çizgisinde yapılan hesaplamalarda göl aynasının alanında 1986 yılı yaz döneminden 2022 yılı yaz dönemine kadar olan süreçte 204 km²'den 119 km²'ye kadar 85 km²'lik bir azalmanın gerçekleştiği belirlenmiştir (Şekil 5). Burdur Gölü havzası durağan ve benzer yağış karakterleri gösterirken 1995'ten 2003'e kadar yağmurlu bir yağış karakteri göstermektedir. Burdur'un son 36 yılındaki en yüksek yağış seviyesi 2003'te (594,2mm) tespit edilmiş, bu yağış karakterinin ardından göl seviyesindeki çekilme değil artış gerçekleşmiştir. Burdur Gölü'nde ki 36 yıllık bu değişimler dikkate alınarak DSAS yardımı ile mekânsal tahminler yapılmıştır. Bu tahminler Burdur Gölü göl aynasının 10 yıl sonra 102 km² olacağını göstermektedir (Şekil 5). Bu tahmin değeri 1986 yılı dikkate alındığında 36 yılda göl aynasının yarısının kaybolduğu belirlenmiştir. Bu değişimin Net Kıyı Çizgisi Hareketi Sonuçlarına göre en az de-
ğişim 46 metre iken en yüksek değişim 13408 metre olarak hesaplanmıştır (Şekil 5). Bu durumda meydana gelen çekilmenin mevcut çözünürlükte (30 metre) yüksek eğimli sahalarda dahi çekilmenin yıllık 2-3 metre olduğu anlaşılmaktadır. Buna göre eğimin azaldığı bölgelerde bu miktarının artması muhtemeldir.

DSAS yöntemi ile bu hata payından etkilenme oranı daha düşük olan Doğrusal Regresyon Oranı değerleri incelendiğinde kıyı çizgisindeki değişimlerin daha kolay anlaşılmaktadır. Doğrusal Regresyon Oranın göre Burdur Gölü'nde bahsi geçen yıllar arasında kıyı çizgisindeki en yüksek değişim oranı % 410 ile gölün kuzeydoğu kıyısından gerçekleştiği ve en az değişim %0,93 ile Karakent yakınlarında yüksek kütleli bulunduğu yerde gerçekleşmiştir (Şekil 5). Bu analizler ile elde edilen diğer bulgular lojistik regresyon oranı ve coğrafi ağırlıklı regresyon oranlarıdır. Buradaki bulgulara göre göl kıyı çizgisinin ¼'ünde 2251 metreden daha fazla gerileme gerçekleşmiştir. Göl kıyı çizgisinin yarısı en az 550 en fazla 2025 metre gerilemiştir. En az kıyı hareketinin olduğu bölgeler toplam kıyı çizgisinin ¼'ünü oluşturmakla birlikte buradaki gerileme 46-500 metre arasında gerçekleşmiştir (Şekil 5). Net kıyı çizgisi hareketleri doğrusal regresyon oranı ile uyumlu sonuçlar belirlenmiştir. Burdur Gölünde en çok gerilemenin olduğu bölgede doğrusal regresyon oranı %200 ile %400 arasında gerçekleşmiştir. Bu durum değişim bağımsız bir değişken olarak doğrusal bir fonksiyon olarak hesaplandığında değişimin başlangıçtaki durumunun fazla 4 katta varan oldukça yüksek oranda meydana geldiğini göstermektedir. Ayrıca yapılan tahminlerde gölün kuzeydoğu bölümünde yıllara göre gerilemelerin olduğu ayrıca gölün merkezine doğru bir girinti meydana geleceği tahmin edilmektedir (Şekil 5). Burdur Gölünün 10 yıl sonraki tahminler doğrultusunda daralması halinde gölün Ardıçlı ve Askeriye yerleşmeleri ile ilişkisinin azalacağı anlaşılmaktadır.



Şekil 3. a) aylık maksimum, b) aylık minimum ve c) aylık ortalama sıcaklık değerleri ve tahminleri.

Figure 3. a) monthly maximum, b) monthly minimum and c) monthly average temperature values and forecasts.



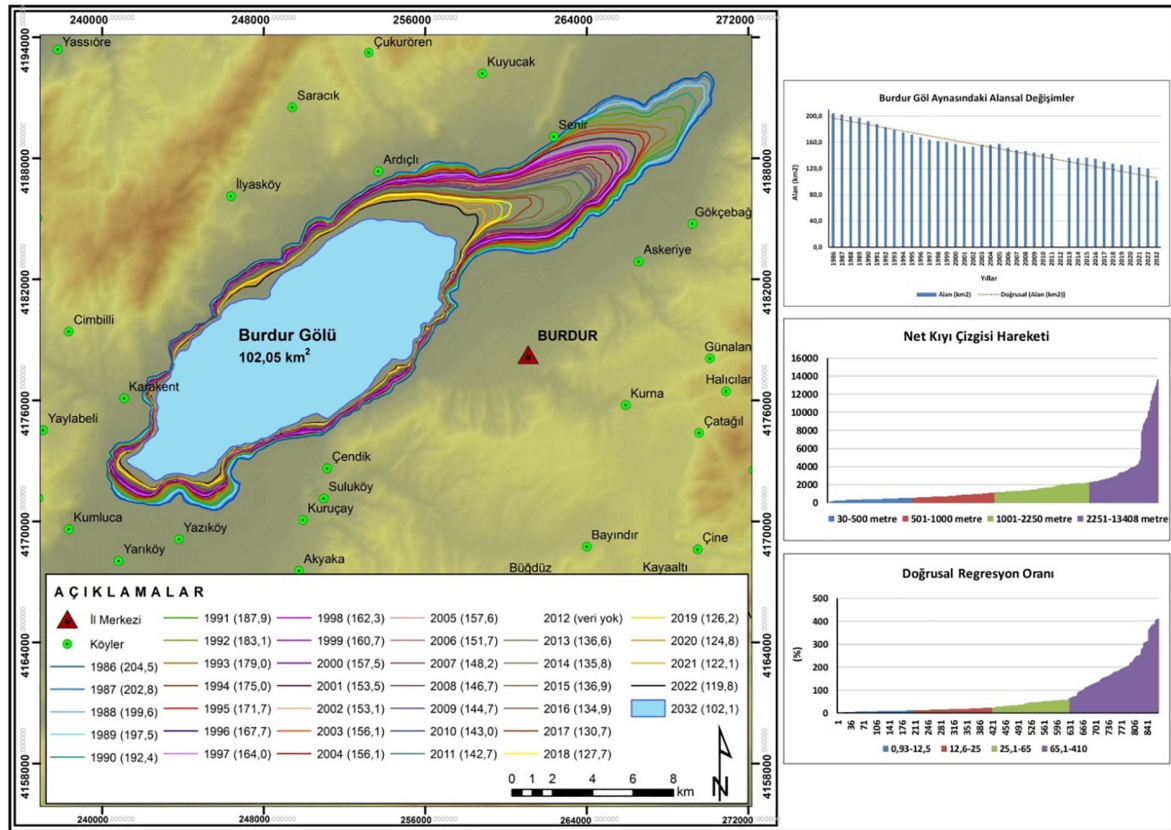
Şekil 4. Kalibrasyon için kullanılan Karakent yakınlarında kalkerden oluşan yüksek kütle ve güncel kıyı sınırı.
Figure 4. Limestone high mass and current coastal boundary near Karakent used for calibration.

4. Tartışma ve Sonuç

Burdur Gölü'nün son yıllarda geçirdiği seviye değişimleri hidrografik olarak su bilançosu ile doğrudan ilişkilidir. Bundan dolayı Burdur Gölü'nün genel seviye düzeyleri incelenirken gelir ve gider dengesinde özellikle iklim parametrelerinden yararlanılmıştır. Burdur Gölü ve çevresinin iklimi kurak ve yarı kurak iklim sınıflandırması içerisinde yer almaktadır (Şener & Şener, 2021; Cengil & Ayan, 2022). Bu özelliği ile çalışma alanında yaz ayları sıcak ve kurak, kış ayları ise soğuk ve yağışlıdır. Bu sahanında yağış karakteri genel olarak 400 mm. düzeyinde olmaktadır. Burdur Gölü meteoroloji istasyonu kapsamında rasat edilen klimatik veriler üzerinde yapılan eğilim analizlerinde yıllık ve aylık yağış verilerinde anlamlı artış veya azalış belirlenmemiştir. Diğer yandan maksimum sıcaklıklarda ve aylık ortalama sıcaklıklarda görülen artış eğilimi kurak ve yarı kurak alanlar içerisinde sınıflandırılması ile uzun yıllar verilerine göre yağış düzeyinin az, sıcaklık düzeyinin de yüksek olması Burdur Gölü'nü etkileyen bir azalış eğilimi su bilançosuna negatif yönlü etki yaratması kaçınılmazdır.

Burdur Gölü ile ilgili geçmiş dönemden elde edilen uydu görüntüsü ve geçmiş uzun yıl meteoroloji verileri ile farklı yöntemler kullanılarak gölün zaman içerisinde değiştiğini ve bu değişimlerdeki seviye farklılıkları üzerine çalışmalar oldukça fazladır (Şener vd., 2005; Ataol, 2010; Göncü vd., 2016; Sarp & Ozcelik, 2017; Sabuncu, 2020; Albarqouni vd., 2022). Bu çalışmada öncelikle havzadaki uzun yıllar meteoroloji verileri stokastik bir yaklaşım olan SARIMA yöntemiyle değerlendirilmiş ve havza-

nın gelecek 10 yılda yıllık toplam yağış ortalaması, aylık maksimum ve minimum ortalamaları tahmin edilmiştir. Bu çalışmada elde edilen verilerle yapılan tahminlerde yıllık toplam yağış ortalamasının gelecekteki 10 yılda mevcut ortalama olan 424 mm toplam yağıştan 40mm daha az olacağı öngörülmüştür. Bu konuda yürütülen uluslararası çalışmalardan biri olan CMIP5 iklim simülasyon projesi ACCESS-CM2 modeline göre gelecekteki 20 yıldaki toplam yağış ortalamasının Burdur Meteoroloji İstasyonundan 464 mm olacağı tahmin edilmektedir (Bi vd., 2020). CanESM5 olarak adlandırılan bir diğer modelde ise 2021-2040 yılları arasında toplam yağış ortalamasının Burdur ilinde 496 mm olacağı belirtilmiştir (Swart vd., 2019). Bu sonuçlar Burdur GM istasyonunda ölçülen mevcut yağış ortalamalarından ve bu çalışmada yapılan yağış tahminlerinin üzerinde olduğu görülmektedir. Bu yönü ile bu çalışmada yağış konusunda yerel düzeyde yürütülen tahminlerin doğruluğunun ilerleyen yıllarda ölçülerek test edilmesi gerektiğine işaret etmektedir. Geleceğe yönelik sıcaklık tahminlerinde ise 2021-2040 yılları arasında CanESM5 modelinde yıllık ortalama sıcaklık değerinin 15 C°, maksimum ve minimum aylık ortalamaların 1 C° ve 25 C° olacağı; ACCESS-CM2 modelinde ise yıllık ortalama sıcaklığın 14 C°, maksimum ve minimum sıcaklıkların 3 C° ve 26 C°'ye ulaşacağı ifade edilmektedir. Bu çalışmada yapılan tahminlerde gelecek 10 yıl için yıllık sıcaklık ortalamasının 16 C°, aylık minimum ve maksimum sıcaklık ortalamalarının 3 C° ve 27,5 C° ile bugüne kadar olan kayıt ortalamalarından yaklaşık 2 C° daha fazla olacağını ifade etmektedir. Böylece yerel düzeyde sıcaklık konusunda yürütülen tahminlerin ACCESS-CM2 modeline yakın olduğu dikkat çekmektedir. Sıcaklıkla ilgili tüm tahmin değer-



Şekil 5. Burdur Gölü uzun yıllık (1986-2022) seviye değişimleri, net kıyı çizgisi hareketi, doğrusal regresyon oranı ve 2032 yılı tahmini göl aynası alanı.
Figure 5. Burdur Lake long-term (1986-2022) level changes, net shoreline movement, linear regression ratio and estimated lake mirror area in 2032.

leri incelendiğinden genel olarak sıcaklıkların bugüne kadar olan ortalamalardan daha yüksek seyredeceği öngörülmektedir. Sıcaklıklara yönelik tahminlerin gerçekleşmesi durumunda Burdur Göl aynasındaki daralma sürecini hızlandırması beklenmektedir. Burdur Gölü'nün kıyı çizgisi üzerinde yaşanan değişimler ve göl alanının küçülmesini konu alan bir çalışmada göl alanının değişmesi ile iklim parametrelerinin istatistiksel olarak kuvvetli doğrusal ilişki test edilemediği belirtilmektedir (Hepdeniz, 2020). İklim ve Burdur Göl aynasındaki daralma Çolak ve diğerleri (2022) tarafından yapılan çalışmada genel anlamda tarımsal sulama kaynaklı olduğu ancak iklim değişikliği ile bu sürecin daha da güçlendiği ortaya konulmaktadır. Oysa bu çalışmadaki kıyı değişimi ve yağış verileri incelendiğinde 2003 ve 2015 yıllarında yüksek miktarda ekstrem yağışlar gerçekleştiği dönemlerde bu yılları takip eden yıllarda göl seviyesindeki azalış durduğu hatta seviyede artışın olduğu gözlemlenmiştir. Buradaki sonuçlar ile Gözükar ve diğerleri tarafından (2021) yapılan çalışmada göl seviyesindeki azalışın 2003 ve 2015 yıllarında olmadığı ifade edilmektedir. Bu durum Burdur Göl aynasındaki değişimlerin yağışlarla beklenenden daha fazla ilişkili olduğunu göstermektedir. Pek tabii bu çalışmada ifade edildiği gibi Burdur Göl aynasındaki azalış eğilimi iklimle ilişkili olsa da beşeri faaliyetlerin bu daralma süreci arttırdığı bilinmektedir (Gözükar vd., 2019). Tüm bu değişkenler dikkate alındığında Burdur Gölü ile ilgili esas tehlikenin yağışların azalma eğilimine girdiği sürelerdeki su kullanımının olduğu anlaşılmaktadır. Burada yapılması gereken yağışların azaldığı dönemleri takip eden sürelerde su kullanımının dengelenmesi yani azaltılmasıdır.

İlgili literatürde Burdur Gölü'nün geleceğe yönelik göl aynasının durumu ile ilgili yani gölün benzer koşulların devam etmesi durumunda gelecekte nasıl bir görünüm alacağına ilişkin çalışmalar yok denilecek kadar azdır. Bu kapsamda literatürde

rastlanan Ataol (2010) tarafından yapılan çalışmada su bilançosuna göre gölün 2080 yılındaki hacim değerleri hesaplanmış ve bir harita oluşturulmuştur. Bu Kıyı çizgisindeki değişimler Dijital Kıyı Sınır Çizgilerinde farklı çalışmalarda da kullanılarak test edilmiş ve bu projeksiyonlar ile geleceğe yönelik kıyı şeridi planlamalarında bir fikir üretme hususunda katkı sağlamıştır (Duru, 2017). Bu çalışmada ise Burdur Gölü kıyı çizgisi ile ilgili olarak yapılan çalışmalarda geleceğe yönelik tahmin oluşturan ve geleceğe projeksiyon tutan araştırmaların sınırlı olmasına karşı bu çalışmada modern CBS yöntemleri (DSAS) kullanılarak Burdur Gölü'nün gelecek 10 yılına tahminler göl aynasının 17 km² daha daralacağını göstermiştir. Bu daralma ile Burdur Göl aynasının 2032 yılında Burdur Gölü Ardiçli köy yerleşmesi ile Burdur şehri hattına kadar gerilemiş olacağı tahmin edilmektedir. Bu durum göl yüzeyinin çekildiği alanları bitki örtüsünden yoksun ve aşınmaya hassas bir ortam oluşmasına neden olmuştur (Şekil 6). Başka bir deyişle Burdur Gölü kıyısında kapilarite özelliğini kaybeden ve bünyesindeki sudan arınan göl sedimanları rüzgâr tarafından şiddetli toz fırtınalarına ortam hazırlamaktadır. Toz fırtınalarına bir diğer ortam hazırlayan temel etken ise kuruyan göl havzasının kontrolsüz olarak tarımsal mera alanı olarak kullanılması ve göl tabanında zorlukla tutunan bitkiler otlatmalar ile birlikte ortamın nemden arınarak toz taşınımına neden olan antropojenik bir etken olarak karşımıza çıkmaktadır (Şekil 7). Göldeki seviye düşüşleri sonucu ortaya çıkan bu toz hareketleri şehir üzerinde ve insanlarda olumsuz sonuçları ortaya çıkarması kaçınılmazdır. Dünyadaki farklı örneklerde (Aral Gölü vs.) olduğu gibi bu durum ekolojik, ekonomik ve kültürel etkileriyle çok farklı problemlere neden olabileceğinden bu başlıkların her biri ayrıca incelenerek süreci yavaşlatıcı ya da kurtarıcı çözümlere kapı açılmasına ihtiyaç vardır.



Şekil 6. Burdur Gölü kuzeydoğusunda Ardıçlı Köyü ve çevresinde toz taşınımı.
Figure 6. Dust transport in and around Ardıçlı Village, northeast of Lake Burdur.



Şekil 7. Burdur Gölü kuzeydoğusunda Senir Köyü ve çevresinde toz taşınımı.
Figure 7. Dust transport in and around Senir Village, northeast of Lake Burdur.

Çıkar Çatışması/Conflict of Interest : Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder. The authors declare that there is no conflict of interest.

Veri erişebilirliği/Data availability : Uydu görüntülerini paylaştığı için Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumu (USGS) teşekkür ederiz. Buradaki veriler <https://earthexplorer.usgs.gov/> adresinden temin edilebilmektedir. Thanks to the United States Geological Survey (USGS) for sharing the satellite images. The data here can be obtained from <https://earthexplorer.usgs.gov/>.

Yazar katkısı/Author contribution: Çalışma konsepti ve kavramsal çerçeve tasarımı Ç.A. tarafından yapılmıştır. Veriler O.Y., T.B. ve H.A. tarafından toplanmış ve düzenlenmiştir. Analizler Ç.A. tarafından yapılmıştır. Analizler Ç.A., Y.A., O.Y., T.B. ve H.A. tarafından yorumlanmıştır. İlk yazım Ç.A. tarafından yapıldı daha sonra Y.A. tarafından okunmuş ve gerekli düzenlemeler yapılmıştır. The conception and design of study was made by Ç.A, the data was collected and edited by O.Y., T.B. ve H.A., analyzes were made by Ç.A., analyzes were interpreted by Ç.A, Y.A., O.Y., T.B. ve H.A., the first writings done by Ç. A. and later read with necessary corrections were made by Y.A.

Kaynakça

- Abujayyab, S. K., Almotairi, K. H., Alswaiti, M., Amr, S. S. A., Alkarkhi, A. F., Taşoğlu, E., & Hussein, A. M. (2021). Effects of meteorological parameters on surface water loss in Burdur Lake, Turkey over 34 Years Landsat Google Earth Engine time-series. *Land*, 10(12), 1301. <https://doi.org/10.3390/land10121301>
- Aksoy, B. & Salman, O. (2020). ARIMA modeli kullanılarak Türkiye'deki iklim sıcaklıklarının geleceğe yönelik tahminlenmesi. *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 12 (2) , 69-76. <https://dergipark.org.tr/en/pub/utbd/issue/60337/770451>
- Alahacoon, N., Matheswaran, K., Pani, P. & Amarnath G. (2018). A decadal historical satellite data and rainfall trend analysis (2001–2016) for flood hazard mapping in Sri Lanka. *Remote Sensing*, 10 (448), 1-18. <https://doi.org/10.3390/rs10030448>
- Albarqouni, M. M., Yagmur, N., Bektas Balcik, F., & Sekertekin, A. (2022). Assessment of Spatio-Temporal Changes in Water Surface Extents and Lake Surface Temperatures Using Google Earth Engine for Lakes Region, Türkiye. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 11(7), 407. <https://doi.org/10.3390/ijgi11070407>
- Alfa, N. I., Adeofun, C. O., & Ologunorisa, E. T. (2008). Assessment of changes in aerial extent of Lake Chad using satellite remote sensing data. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 12, 101–107. <https://doi.org/10.4314/jasem.v12i1.55580>

- Altan Aydın, F. & Doğu, A. F. (2018). Göllerde seviye değişimleri ve nedenleri: Van Gölü Örneği. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (41), 183-208. <https://dergipark.org.tr/pub/yyusbed/issue/43563/533057>
- Atalay, İ. (2006). *Toprak Oluşumu, Sınıflandırılması ve Coğrafyası*. Meta Basım Matbaacılık: İzmir.
- Ataol, M. (2010). Burdur Gölü'nde seviye değişimleri. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 8(1), 77-92. https://doi.org/10.1501/Cogbil_0000000105
- Atayeter, Y., Temurçin, K. & Yayla, O. (2022). Baraj göllerinde arazi kullanım planlamasındaki çevresel hassasiyet analizi: Burdur Gölü Kapalı Havzasında Karaçal Baraj Gölü Havzası örneği. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Sosyal Bilimler Dergisi*, (56), 221-238. <https://dergipark.org.tr/pub/sufesosbil/issue/72433/1096149>
- Atayeter, Y. & Tokgözü, A. (2014). Burdur merkez ilçesi'nin fiziki coğrafya özellikleri. İçinde Kadir Temurçin & Yıldırım Atayeter (Ed.) *Burdur Merkez İlçesi'nin Coğrafi Etüdü* (13-51). Burdur Belediyesi Kültür Yayınları.
- Bahadır, M. & Saraçlı, S. (2010). Isparta'da ARIMA modeline göre senetetik iklim verilerinin analizi. *Nature Sciences*, 5(3), 163-177. <https://dergipark.org.tr/en/pub/nwsanature/issue/10850/130542>
- Başbüyük, Z., Kavak, K. Ş., Yalçın, H., & Bozkaya, Ö. (2014). Köseadağ magmatiklerinde (Zara-Sivas) hidrotermal alterasyonla ilişkili kaolin yataklarının landsat etm+ görüntüsü kullanılarak belirlenmesi. *Cumhuriyet Yerbilimleri Dergisi*, 31(1-2), 5-13. <https://www.researchgate.net>
- Baig, M. R. I., Ahmad, I. A., Shahfahad, Tayyab, M., & Rahman, A. (2020). Analysis of shoreline changes in Vishakhapatnam coastal tract of Andhra Pradesh, India: an application of digital shoreline analysis system (DSAS). *Annals of GIS*, 26(4), 361-376. <https://doi.org/10.1080/19475683.2020.1815839>
- Bi, D., Dix, M., Marsland, S., O'farrell, S., Sullivan, A., Bodman, R., ... & Heerdegen, A. (2020). Configuration and spin-up of ACCESS-CM2, the new generation Australian community climate and earth system simulator coupled model. *Journal of Southern Hemisphere Earth Systems Science*, 70(1), 225-251. <https://doi.org/10.1071/ES19040>
- Box, G. E., & Jenkins, G. M. (1976). *Time series analysis: forecasting and control*. Holden dsy. Inc. California.
- Cengiz, T. M., & Kahya, E. (2011). Türkiye göl su seviyelerinin eğilim ve harmonik analizi. *İTÜ DERGİSİ/d*, 5(3). http://www.itudergi.itu.edu.tr/index.php/itudergisi_d/article/view/511
- Cengil, B., & Ayan, H. Y. (2021). Burdur Havzasında sıcaklık ve yağış değişimleri ile iklim projeksiyonları. 5th International Symposium on Innovative Approaches in Smart Technologies. *SETSCI Conference Proceedings 5* (1), 35-37. <https://doi.org/10.36287/setsci.5.1.007>
- Davraz, A., Sener, E., & Sener, S. (2019). Evaluation of climate and human effects on the hydrology and water quality of Burdur Lake, Turkey. *Journal of African Earth Sciences*, 158, 103569. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2019.103569>
- Divisekara, R. W., Jayasinghe, G. J. M. S. R., & Kumari, K. W. S. N. (2021). Forecasting the red lentils commodity market price using SARIMA models. *SN Business & Economics*, 1(1), 1-13. <https://link.springer.com/article/10.1007/s43546-020-00020-x>
- Duru, U. (2017). Shoreline change assessment using multi-temporal satellite images: a case study of Lake Sapanca, NW Turkey. *Environmental monitoring and assessment*, 189(8), 385. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-017-6112-2>
- Dwyer, J. L., Roy, D. P., Sauer, B., Jenkerson, C. B., Zhang, H. K., & Lyburner, L. (2018). Analysis ready data: enabling analysis of the Landsat archive. *Remote Sensing*, 10(9), 1363. <https://doi.org/10.3390/rs10091363>
- Firatli, E., Dervisoglu, A., Yagmur, N., Musaoglu, N., & Tanik, A. (2022). Spatio-temporal assessment of natural lakes in Turkey. *Earth Science Informatics*, 15(2), 951-964. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12145-022-00778-8>
- 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>
- Göncü, S., Albek, E. A. & Albek, M. (2017). Burdur, Eğirdir, Sapanca ve Tuz Gölleri su seviyelerinin nonparametrik istatistik yöntemler ile eğilim analizi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17(2), 555-570. <https://dergipark.org.tr/en/pub/akufemubid/issue/43399/524749>
- Gözükara, G., Altunbaş, S., & Sarı, M. (2019). Burdur Gölü'ndeki seviye değişimi sonucunda ortaya çıkan lakustrin materyalin zaman-sal ve mekansal değişimi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 34(3), 386-396. <https://doi.org/10.7161/omuanajas.556215>
- Gözükara, G., Zhang, Y., Hartemink, A. E., Altunbas, S., & Sarı, M. (2021). Soil chronosequence and biosequence on old lake sediments of the Burdur Lake in Turkey. *Pedosphere*, 31(6), 882-891. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(21\)60040-1](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(21)60040-1)
- Hepdeniz, K. (2020). Determination of Burdur Lake's areal change in upcoming years using geographic information systems and the artificial neural network method. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(21), 1143. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12517-020-06137-5>
- Hirsch, R. M., & Slack, J.R. (1984). A Nonparametric trend test for seasonal data with serial dependence. *Water Resources Research*, 20(6), 727-732. <https://doi.org/10.1029/WR020i006p00727>
- Himmelstoss, E.A., Farris, A.S., Henderson, R.E., Kratzmann, M.G., Ergul, Ayhan, Zhang, Ouya, Zichichi, J.L., and Thieler, E.R., (2018). Digital Shoreline Analysis System (version 5.0): U.S. Geological Survey software release, <https://code.usgs.gov/cch/dsas>
- Himmelstoss, E.A., Henderson, R.E., Kratzmann, M.G., and Farris, A.S., (2021). Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 5.1 user guide: U.S. Geological Survey Open-File Report 2021-1091, 104 p., <https://doi.org/10.3133/ofr20211091>
- Jensen, J. R. (2009). *Remote sensing of the environment: An earth resource perspective 2/e*. Pearson Education India.
- Kalayci, S., & Kahya, E. (1998). Susurluk havzası nehirlerinde su kalitesi trendlerinin belirlenmesi. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Science*, 22, 503-514. <https://aj.tubitak.gov.tr/engineering/issues/muh-98-22-6/muh-22-6-8-98023.pdf>
- Karabulut, M. (2012). Doğu Akdeniz'de ekstrem maksimum ve minimum sıcaklıkların trend analizi. *KSÜ Doğa Bilimleri Dergisi Özel Sayı*, 37, 44.
- Kendall M.G. (1975). *Rank Correlation Methods*. Griffin, London, UK.
- Kızılelma, Y., Çelik, M., & Karabulut, M. (2015). İç Anadolu Bölgesinde sıcaklık ve yağışların trend analizi. *Türk Coğrafya Dergisi*, (64), 1-10. <https://doi.org/10.17211/tcd.90494>
- Klein, I., Dietz, A. J., Gessner, U., Galayeva, A., Myrzakhmetov, A., & Kuenzer, C. (2014). Evaluation of seasonal water body extents in Central Asia over the past 27 years derived from medium-resolution remote sensing data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 26, 335-349. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2013.08.004>

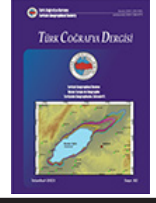
- Koç, A., Çoban, O. & Yener, H. (2006). Değişim belirlemede görüntü farkı ve görüntü oranlama yöntemleri. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*, 56 (1), 25-32. <https://dergipark.org.tr/en/pub/jffiu/issue/18713/198792>
- Kuleli, T., Guneroglu, A., Karsli, F., & Dihkan, M. (2011). Automatic detection of shoreline change on coastal Ramsar wetlands of Turkey. *Ocean Engineering*, 38(10), 1141-1149. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2011.05.006>
- Küçük, C., & Sarp, G. (2021). Evaluation of formation mechanism of lakes in terms of morphometric aspect; lakes region and their vicinity, SW of Turkey. *Episodes Journal of International Geoscience*, 44(3), 285-297. <https://doi.org/10.18814/epiugs/2020/020089>
- Li, X., Cheng, G., Ge, Y., Li, H., Han, F., Hu, X.,...Cai, X. (2018). Hydrological cycle in the Heihe River Basin and its implication for water resource management in endorheic basins. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 123, 890-914. <https://doi.org/10.1002/2017JD027889>
- Mann, H.B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica*, 13, 245-259. <https://doi.org/10.2307/1907187>
- Mishra, M., Chand, P., Pattnaik, N., Kattel, D. B., Panda, G. K., Mohanti, M., ... & Mohanty, T. (2019). Response of long-to short-term changes of the Puri coastline of Odisha (India) to natural and anthropogenic factors: a remote sensing and statistical assessment. *Environmental Earth Sciences*, 78, 1-23. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12665-019-8336-7>
- Moore, L. (2000). Shoreline mapping techniques. *Journal of Coastal Research* 161:111-124. 19. <https://www.jstor.org/stable/4300016>
- Mutlu, A. Z., Kazancı, B., Özçetin, A. Y., & Sarıyılmaz, F. B. (2020). Akşehir gölü zamansal değişiminin bant oranlama yöntemleri ile belirlenmesi. *Türkiye Uzaktan Algılama Dergisi*, 2(1), 22-28. <https://dergipark.org.tr/en/pub/tuzal/issue/52699/650018>
- Polat P. & Sunkar M. (2017). Rize'nin iklim özellikleri ve Rize çevresinde uzun dönem sıcaklık ve yağış verilerinin trend analizleri, *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 27(1), 1-23. <https://doi.org/10.18069/firatsbed.346684>
- McLeod, A. I., & McLeod, M. A. (2015). Package 'Kendall'. R Software: London, UK
- Sabins, F.F., 1997, Remote Sensing: Principles and Interpretation, 3rd edition W.H.Freeman and Co.
- Sabancı, A. (2020). Burdur Gölü kıyı şeridindeki değişiminin uzaktan algılama ile haritalanması. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20(4), 623-633. <https://doi.org/10.35414/akufemubid.711653>
- Sarp, G., & Özcelik, M. (2017). Water body extraction and change detection using time series: A case study of Lake Burdur, Turkey. *Journal of Taibah University for Science*, 11(3), 381-391. <https://doi.org/10.1016/j.jtusci.2016.04.005>
- Stone, R. (2015). Saving Iran's great salt lake. *Science*, 349(6252), 1044-1047. <https://doi.org/10.1126/science.349.6252.1044>
- Swart, N. C., Cole, J. N., Kharin, V. V., Lazare, M., Scinocca, J. F., Gillett, N. P., ... & Winter, B. (2019). The Canadian earth system model version 5 (CanESM5. 0.3). *Geoscientific Model Development*, 12(11), 4823-4873. <https://doi.org/10.5194/gmd-12-4823-2019>
- Şener, E., & Şener, Ş. (2021). SPI ve CZI kuraklık indislerinin CBS tabanlı zamansal ve konumsal karşılaştırması: Burdur Gölü Havzası örneği. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 7(1), 41-58. <https://doi.org/10.21324/dacd.800036>
- Tağlı, Ş., & Alevkayalı, Ç. (2014). Eğirdir Gölüne kuzyeyden dökülen akarsularda akım trendi ve yağış ilişkisi, *Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 17(32), 211-229. <https://doi.org/10.31795/baunsobed.645483>
- Thieler, E. R., E. A. Himmelstoss, J. L. Zichichi, & A. Ergul, (2009). "Dig-ital shoreline analysis system (DSAS) version 4.0—an Arc-GIS extension for calculating shoreline change." U.S. Geol. Survey Open File Rep.. 2008-1278.
- Tokgöz, S., & Partal, T. (2020). Karadeniz Bölgesinde yıllık yağış ve sıcaklık verilerinin yenilikçi şen ve mann-kendall yöntemleri ile trend analizi. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 10(2), 1107-1118. <https://doi.org/10.21597/jist.633368>
- Topuz M., Karabulut, M. & Korkmaz H. (2016), Trend analysis of precipitation in Hatay, *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 9 (43), 1186-1194.
- Topuz, M., & Karabulut, H. F. M. (2018). Türkiye'de Yağış Eğilimleri (1955-2013) ve Atmosferik Dolaşım. *TÜCAUM*, 30, 3-6.
- Topuz, M., Feidas, H., & Karabulut, M. (2020). Trend analysis of precipitation data in Turkey and relations to atmospheric circulation:(1955-2013). *Italian Journal of Agrometeorology*, (2), 91-107. <https://www.torrossa.com/en/resources/an/5042191#page=93>
- Tourian, M. J., Elmi, O., Chen, Q., Devaraju, B., Roohi, S., & Sneeuw, N. (2015). A spaceborne multisensor approach to monitor the desiccation of Lake Urmia in Iran. *Remote Sensing of Environment*, 156, 349-360. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.10.006>
- Tulan İşildar, H., & Yalçın Ercoşkun, Ö. (2021). Göller Yöresinde sürdürülebilirlik ve dirençlilik. *Journal of Management Theory and Practices Research*, 2(2). <https://journals.academicianstudies.com/jmtp/article/view/26>
- Turoğlu, H. (2017). *Deniz ve Göllerde Kıyı*. İçinde Turoğlu H. & Yiğitbaşoğlu, H. (Ed), *Yasal ve Bilimsel Boyutlarıyla KIYI* (ss. 1-30). Jeomorfoloji Derneği Yayınları
- Turoglu, H. & Duran, A. (2021). Filyos Çayı Deltasında (Karadeniz) kıyı çizgisi değişiklikleri ve yakın geleceğe yönelik göstergeler. *Türk Coğrafya Dergisi*, (78), 61-74. <https://doi.org/10.17211/tcd.1016928>
- Wang, J., Song, C., Reager, J. T., Yao, F., Famiglietti, J. S., Sheng, Y., ... & Wada, Y. (2018). Recent global decline in endorheic basin water storages. *Nature geoscience*, 11(12), 926-932. <https://doi.org/10.1038/s41561-018-0265-7>
- Wang, F., Shao, W., Yu, H., Kan, G., He, X., Zhang, D., Ren, M., & Wang, G. (2020). Re-evaluation of the power of the mann-kendall test for detecting monotonic trends in hydrometeorological time series. *Frontiers in Earth Science*, 8, 14. <https://doi.org/10.3389/feart.2020.00014>
- Woodcock, C. E., Allen, R., Anderson, M., Belward, A., Bindschadler, R., Cohen, W., ... & Wynne, R. (2008). Free access to Landsat imagery. *Science*, 320(5879), 1011-1011. <https://www.science.org/doi/10.1126/science.320.5879.1011a>
- Yu, Y. S., Zou, S., & Whittemore, D. (1993). Non-parametric trend analysis of water quality data of rivers in Kansas. *Journal of Hydrology*, 150(1), 61-80. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(93\)90156-4](https://doi.org/10.1016/0022-1694(93)90156-4)



Basılı ISSN 1302-5856

Türk Coğrafya Dergisi
Turkish Geographical Review
www.tcd.org.tr

Elektronik ISSN 1308-9773



Türkiye’de belirlenen istasyon çiftlerinde yağış-yükselti ilişkisi¹

The precipitation-elevation relationship in identified station pairs in Turkey²

Büşra Kırıcı ^{a*}  Erkan Yılmaz ^b 

^a Kastamonu Üniversitesi, İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Kastamonu, Türkiye.

^b Ankara Üniversitesi, Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Ankara, Türkiye.

ORCID: B.K. 0000-0002-2731-3846; E.Y. 0000-0002-3821-3648

BİLGİ / INFO

Geliş/Received: 13.05.2023
Kabul/Accepted: 20.06.2023

Anahtar Kelimeler:

İstasyon çifti
Yağış gradyanı
Yoğuşma seviyesi

Keywords:

Station pairs
Precipitation gradient
Condensation level

*Sorumlu yazar/Corresponding author:

(B. Kırıcı) busrakirci@kastamonu.edu.tr

DOI: 10.17211/tcd.1296754



Atf/Citation:

Kırıcı, B., & Yılmaz, E. (2023). Türkiye’de belirlenen istasyon çiftlerinde yağış-yükselti ilişkisi. *Türk Coğrafya Dergisi*, (82), 51-62. <https://doi.org/10.17211/tcd.1296754>

ÖZ / ABSTRACT

Yükselti arttıkça yağışın da artacağı yönündeki genel kabul, uluslararası literatürde geçerliliğini korurken, ulusal yayınlarda çoğunlukla Schreiber Formülü olarak bilinen eşitlikten yararlanılmaktadır. Formülün, yağışın belirli bir yükselti mesafesinde belirli bir miktarda artacağını önerdiği model, statik bir yaklaşım olup, yağışın yükseltiyle artmadığı durumları tespit etmede kullanışsızdır. Yağış, doğal çevrenin başlıca bileşenlerinden biri olarak, beşeri hayatı doğrudan veya dolaylı yollardan etkilemektedir. Bu bakımdan yağışın gerçeğe yakın modellenmesi, ekonomik faaliyetlerin sürdürülebilirliği ve planlaması açısından önemlidir. Yağışın yükseltiyle nasıl değiştiğini incelemeye alan bu çalışmanın temel yöntemi, belirlenen istasyon çiftlerinde yağış gradyanlarının hesaplanmasına dayanmaktadır. Türkiye’de yeterli veri uzunluğuna sahip 542 adet istasyon çiftinde okunan sonuçlar, yağışın yükseltiyle azaldığı durumların da dikkat çekici ölçülerde olduğunu ortaya koymaktadır. Çiftlerden 130 tanesinde negatif gradyan, pozitif gradyandan daha çok sayıdadır. 2005-2021 dönemine ait aylık verilerle elde edilen sonuçların işaret ettiği bir diğer husus, pozitif ve negatif gradyanların görülme yüzdeleri arasındaki belirgin mevsimselliklerdir. Buna göre negatif gradyanının görülme yüzdesi soğuk periyotta fazlalaşmakta, yazın ise azalmaktadır. İki mevsim arasındaki hava sıcaklıklarıyla birlikte yoğuşma seviyesindeki belirgin farklılıklar gradyanın pozitif ya da negatif olmasını belirlemektedir. Yoğuşma seviyesinin bir diğer deyişle bulut tabanı yüksekliğinin alçaldığı kış aylarında negatif gradyan tespit etmek daha olasıdır.

While international publications generally assume that precipitation increases with increasing elevation, the local literature mostly uses the Schreiber formula, which simply shows that precipitation increases by a certain amount at a given elevation distance. The Schreiber formula based model is a static one and not useful in identifying situations where precipitation does not increase with elevation. As a main component of the natural environment, precipitation directly and indirectly impacts human activities. Hence, realistic precipitation modeling is important for sustainability and economic planning. In this study, the variation of precipitation with elevation was investigated by calculating precipitation gradients at 542 identified station pairs with sufficient data length in Turkey. The findings from these station pairs revealed that there were a remarkable number of cases where precipitation decreases with elevation. In 130 pairs, the negative gradient outnumbered the positive gradient. Using monthly data for the period 2005–2021, it was pointed out that there is significant seasonality between the percentages of positive and negative gradients. The percentage of negative gradient increases during the winter and decreases in summer. Significant differences in the condensation level along with air temperatures between the two seasons determine a positive or negative gradient. A negative gradient is more likely to be detected in winter when the condensation level, that is, the cloud base height, is lower.

¹ Bu çalışma sorumlu yazarın yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

² This study was produced from the master’s thesis of the responsible author.

Extended Abstract

Introduction

As a climatic parameter, precipitation impacts human and economic activities. Its spatial distribution is very difficult to predict. Topographical features of the area where precipitation occurs significantly influence its distribution. Features such as proximity to water bodies, latitude, aspect, the degree of topography fragmentation, orientation toward or away from the prevailing wind direction, and elevation cause significant differences in the amount of precipitation over short distances. In Turkey, the precipitation–elevation relationship is mostly evaluated using the Schreiber formula, which states that precipitation always increases by a constant value (54 mm per 100 m) with increasing elevation, neglecting the variability of precipitation, thus increasing the errors in the models using the formula. This study aims to determine how precipitation changes with elevation in Turkey, and the findings of this study will help improve modeling methods and approaches.

Data and Method

Monthly precipitation data for the period 2005–2021 were obtained from The Turkish General Directorate of Meteorology. The months where precipitation is more than 500 mm and precipitation is zero for three consecutive months for summer months were excluded. Stations within the same subbasin and at the shortest possible distance with an elevation difference of at least 100 m were paired together, and precipitation gradients were calculated by proportioning precipitation differences to elevation differences in the identified pairs. Pairs with at least 60 gradients were considered. In 542 pairs, the data length was 60 or more.

Results and Discussion

A positive gradient means increasing precipitation with elevation, while a negative gradient means decreasing precipitation with elevation. Despite variable amounts where there was an increase or decrease, in most of the pairs, annual precipitation increased or decreased by at most 25 mm per 100 m. Thus, using the Schreiber formula in most places where there is a positive gradient would result in a modeling error of more than a factor of two. On a monthly basis, there is strong variability in the gradient, and generally, in most pairs, the increase or decrease was found to be at most 5 mm per 100 m. In this regard, consistency can be considered to be achieved in the modeling where the Schreiber formula is adapted to monthly precipitation with a 4.5 mm increase. However, it is worth noting that, in some pairs, the increase or decrease is more than 5 mm and the direction and amount of change in each pair vary from month to month. It can be inferred that the station pair method is more successful in revealing local precipitation variability than the Schreiber method. In addition, one of the remarkable findings of this study is the seasonality of the gradient patterns. The station pair method models negative gradients in more station pairs in winter than in summer. Although both gradients can be seen in both seasons, the higher number of negative gradients in the winter suggests that the condensation level controls the gradient. In winter, the condensation level is expected to be lower than in summer. The increasing condensation level in summer explains the positive

gradient. The same pattern was reported in a study conducted in the northern part of the Tien Shan Mountains, which suggested that the condensation level has significant influence on gradient. Indeed, the results for the pair in Erzurum, which is the most similar to the northern part of the Tien Shan Mountains in terms of both elevation and continentality in Turkey, confirms this observation. The percentage of negative gradient ranges from 80 to 100 in winter but drops to 20 in summer. A similar pattern is observed in the east of the Antalya Gulf. On the eastern Black Sea coast, the percentage of negative gradient is higher in winter than in summer but is almost absent in spring. The Foehn effect causes the condensation level to rise higher and higher, so the negative gradient is impossible. Humidity and temperature affect condensation. The percentage of negative gradient occurrence in the pair north of the Keban Dam is less than 50 throughout the year but increases from about 20 in winter to 40 in summer. In summer, more water vapor enters the atmosphere, limiting the rise in condensation. The percentage of negative gradient in the Nevşehir plateau in summer can be as high as that in winter but can also be low. This may be related to convective cells. Precipitation from a precipitation cell affects one station of the pair while the other remains outside the cell and does not receive the precipitation, making it equally probable for the gradient to be positive or negative depending on whether they are high or low stations.

Conclusion

A realistic representation of precipitation distribution by the static Schreiber method is difficult to obtain. Hence, the station pair method can be adopted as a practical approach to reveal local rainfall variability. Condensation levels can explain the seasonality between positive and negative gradients. In the case of convective cells, precipitation variability acquires a strong additional dimension. Nonetheless, more extensive studies are needed to elucidate the precipitation–elevation and condensation level–precipitation gradient relationships.

1. Giriş

İklim parametrelerinin insan yaşamını etkilediği, bu parametreler içerisinde sıcaklık ve yağışın daha belirleyici olduğu bilinmektedir. Sıcaklığın mekandaki dağılışını modellemek daha mümkünken, yağış dağılışını modellemek özellikle topografyanın parçalı olduğu bölgelerde oldukça zordur. Meteoroloji istasyonları vasıtasıyla sağlanan verilerden tüm bir sahanın genelini karakterize edebilecek modeller üretilse de çok sayıda değişkenle yapılan tahminlerin isabet derecesi düşmektedir. Genel sirkülasyona bağlı olarak meydana gelen yağış, yerel topografik şartlar tarafından değiştirilebilmektedir. Bu bakımdan, topografyanın yağış üzerindeki etkisinin açıklığa kavuşturulması, model sonuçlarının iyileştirilebilmesinde etkili olacaktır.

Topografyanın yağışa etkisini kantitatif olarak inceleyen ilk çalışmalardan biri Colorado'nun batısında Spreen (1947) tarafından gerçekleştirilmiştir. 11 yıllık periyodun kış ayları yağışları ilk olarak yükseltiyle, sonra yükseltiyle birlikte eğim, bakı ve topografya uzanışı özellikleri gibi 4 parametreyle değerlendirilmiş; sadece yükselti ile yapılan analizde varyans %30 olarak hesaplanırken, diğer değişkenlerle yapılan analizde %88 olarak

belirlenmiştir. California'da yine 11 yıllık periyot Burns (1953) tarafından dikkate alınmış ve yıllık ortalama yağışla yükselti arasındaki korelasyona ait ortalama hata değeri 1'den fazlayken, yükseltiyle birlikte eğim, baki, topografya uzanışı, çalışma sahasındaki yükselti farkı gibi değişkenlerle birlikte bu, 1'in altına düşmektedir. Benzer teknik ve parametrelerle Linsley (1958) California'da 2 yılı oluşturan saatlik verileri incelemiş, çoklu korelasyon katsayısını 0.88 olarak belirlemiştir. Yağışı kriging teknikleriyle modellemeye çalışan Diodato (2005), yükselti değişkenli co-kriging'in sıradan kriging'ten, topografik indeks şeklinde tanımladığı değişkenin kullanıldığı co-kriging'in ise yükselti olanından daha iyi sonuçlar verdiğine ulaşmıştır. Bir topografya üzerinde yağışın değişiminde sadece yükselti değil, diğer parametreler de etkili olsa da bunlar içerisinde yükselti, yağışı daha fazla değiştirmektedir (Unwin, 1969).

Yağış miktarının yükseklik arttıkça nasıl değiştiğini araştıran çalışmalardan ilki, bilindiği kadarıyla Heberden (1769)'e aittir. Sonrasında Homersham (1851)'in çalışması gelmektedir ki, her iki yazar da büyük yağış toplamlarını alçak yerlerde saptamıştır. Genel kabulde çelişkili bu sonuçların kullanılan ölçüm yöntemleriyle alakalı olduğu düşünülmüştür (Jevons, 1861). Yağışın yükseltiyle artacağı yönündeki bir kabul, fiziki coğrafyanın öncü isimlerinden Davis'in 1894 ve 1899 yıllarında kaleme aldığı yazıların arka planından çıkarılabilmektedir. Bu çıkarımlardan biri örneğin, aşındıkça yükselti kaybeden bir sahada yağışın da buna paralel azalacağı yönündedir. Benzer şekilde Robbins (1910) de bir topografya boyunca yükseldikçe nem isteği yüksek bitki türlerinin sahayı kaplar hale gelmesini, yağış artışının bir sonucu olarak değerlendirmektedir. Bununla birlikte Robbins (1910) yağışın yükseltiyle artmadığı gibi istisna durumlar olduğunu ifade etmiş, McAdie (1909) de bunu çalışma sahasındaki bazı istasyonlarda gözlemlemiş olsa da genel olarak yağışın yükseltiyle arttığının kabul edilebileceğini bildirmiştir.

Yükselti arttıkça yağışın ne kadar artacağı yönündeki bir araştırma konusu çeşitli yazarlarca incelenmiş, farklı çalışma sahalarında farklı miktarlar belirlenmiştir (Fernow & Gannett, 1888; Hilgard, 1893; Lee, 1911; McAdie, 1909, 1914; Poulter, 1936). Clyde (1931)'in belirttiğine göre artış miktarları her yıl için farklıdır. Varney (1920), Lull ve Ellison (1950), Smallshaw (1953), Hanson (1982) gibi kimi yazarlar artış miktarının yıl içerisinde de belirgin ölçülerde değiştiğine ulaşmışlardır. Yağışların fazlaştığı kış döneminde pozitif gradyan büyürken, yazın gradyan minimumdur. Seko (1987) ve Glazirin (1997) de benzer sonuçlar belirlemekle birlikte yılın belli dönemlerinde yağışın yükseltiyle artışı yerine negatif gradyan tespit ederek sözü edilen diğer yazarlardan ayrılmaktadırlar. Basist vd. (1994) ise yıllık yağış gradyanını British Columbia'da negatif hesaplamıştır. Çoklu regresyon modeline göre yağış burada, her 100 m'de 35 mm azalmaktadır.

Uluslararası literatürde olduğu gibi Türkiye'de de çalışmalar yağışın yükseltiyle arttığı kabulü üzerine şekillenmiştir. Özellikle yağışın yükseltiyle sabit bir oranda hep artacağı varsayımını içeren Schreiber formülünü kullanan yayınların çokluğu dikkati çekmektedir. Bununla birlikte Atalay (2010, s. 476), pozitif gradyanı Türkiye'de her yerde ve her zaman belirlemenin mümkün olmadığını belirtmiştir. Aydınöz (2008), formülün 54 mm'lik artış değerini sınımış ve belirlediği istasyon çiftlerinde hesapladığı her bir gradyanı, Schreiber gradyanından

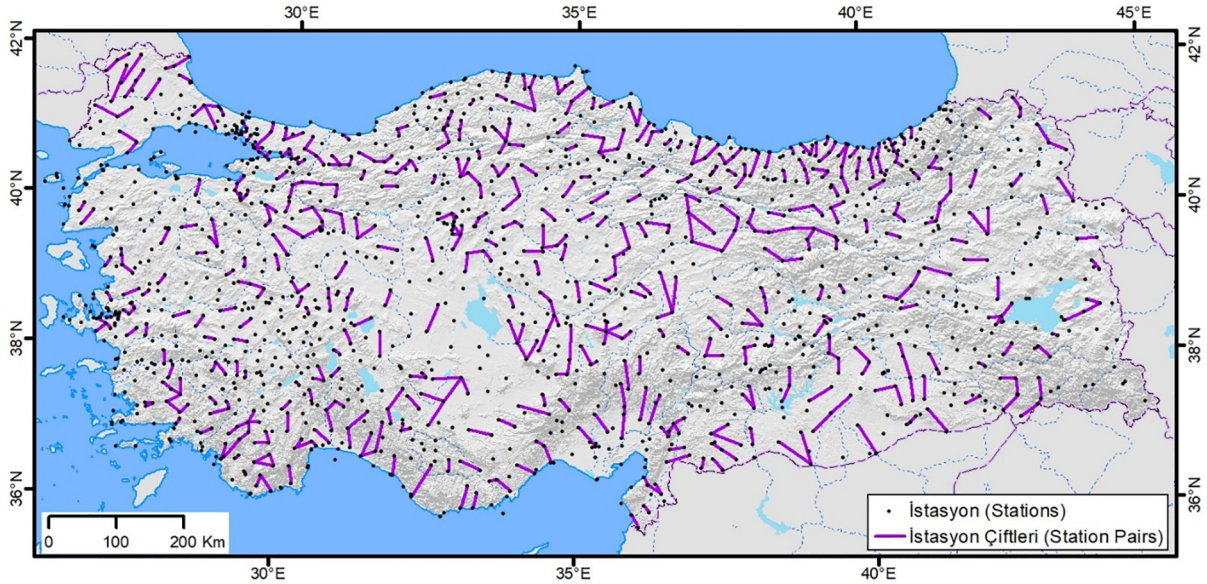
farklı bulmuştur. Eriş ve Ağırlioğlu, (2009) Doğu Karadeniz'de çoklu doğrusal regresyonla yıllık ortalama yağışın yükseltiyle azalışını belirlemiştir. Işık vd. (2019) benzer sonuca Schreiber formülünün Artvin'de kullanılabilirliğini değerlendirerek ulaşmıştır. Hatipoğlu ve Uzun (2020), Melet havzasındaki erozyon riskini modelledikleri çalışmalarında Schreiber formülüyle hesaplanmış yağış verisinin hatalı sonuçlara yol açacağını belirtmiştir. Formülü Bursa-Uludağ örneği üzerinden ilk olarak açıklayan Ardel (1960), yağışın yükseltiyle değişmesi başlığı altında, yağışın her 100 m'deki artışının ne olduğuna yönelik hesaplama sonuçlarının bir yerden diğerine farklılaşacağına da yer vermiştir. Biricik, (2009, s. 155) yıllık yağış verisi için kullanılan 54 mm artış sabitesinin 12'ye bölünmesiyle elde edilen ve böylece her ay için eşit bir değişimi öngören 4.5 mm artış gradyanının, bazı aylarda hiç yağış düşmemesiyle ilişkili olarak her ay için kullanılmayacağını bildirmiştir. Ayrıca, yıllık veya aylık gibi içerisinde birkaç yağış olayının birikimli sonucunu içeren uzun zaman dilimleri (Wang vd., 2018) ile pozitif gradyan arasındaki ilişki de dikkat çekicidir. Yağışın yükseltiyle arttığını belirten birçok yayında kullanılan veri seti bu özelliğindedir. Günlük gibi daha ayrıntılı bir zamansal çözünürlükle çalışıldığında negatif gradyan tespit etmek mümkündür (Sevrük & Miegilitz, 2002). Nitekim Türkiye'nin güneybatısında günlük veriyi kullanan bir çalışmada negatif gradyan da gözlemlenmektedir (Sarış vd., 2021).

Genel olarak değerlendirildiğinde önceki çalışmaların ortaya koyduğu bulgular, yağış-yükselti ilişkisine dair genel kabulün geçerliliğini sorgulamanın faydalı olacağını göstermiştir. Türkiye'de yağışın yükseltiyle nasıl değiştiğini araştıran bu çalışma için 3 amaç belirlenmiştir. 1) Yağış yükseltiyle her zaman ve her yerde artıyor mu veya azalma da görülmekte midir? 2) Yağış nerelerde ve ne zaman yükseltiyle azalmaktadır? 3) Yükseltiyle artma ve azalma gradyanları arasında belli bir dönemsellik belirlenebilir mi? Çalışma kapsamında bu sorulara cevap aranmıştır.

2. Veri ve Yöntem

Türkiye'de sayısı günümüzde 2350'yi bulan meteoroloji istasyonlarından otomatik olanlarının (OMGİ) yaygınlaşması 2000'lerden sonrasına rastlamaktadır (Yılmaz & Darende, 2021). Kurulumunun ve işletilmesinin daha kolay olduğu OMGİ'lerin bu özelliği, daha yüksek sahalarda meteorolojik ölçüm ve gözlemlerin yapılmasını olanaklı hale getirmiştir. Türkiye'de yağış-yükselti ilişkisini incelemeyi amaçlayan bu çalışma, 2005-2021 dönemine ait OMGİ verilerini dikkate almaktadır.

OMGİ ağı içerisinde, aynı alt havzada bulunan, kuş uçuşu mesafenin mümkün olduğunca kısa, yükselti farkının 100 metreden fazla olduğu istasyonlar eşleştirilerek istasyon çiftleri oluşturulmuştur. Aynı yamaçtaki istasyonlar seçilmeye çalışılsa da, bu şart bazen sağlanamamış, aynı hava kütesinden etkilenme olasılığı yüksek istasyonlar çift olarak belirlenmeye çalışılmıştır. Çiftlerde, çifti oluşturan her iki istasyonun ortak ölçüm yaptığı aylar kullanılmış, en az 60 ay ortak ölçümün olmasına dikkat edilmiş ve 542 çiftin yeterli veri uzunluğuna sahip olduğu anlaşılmıştır (Şekil 1).



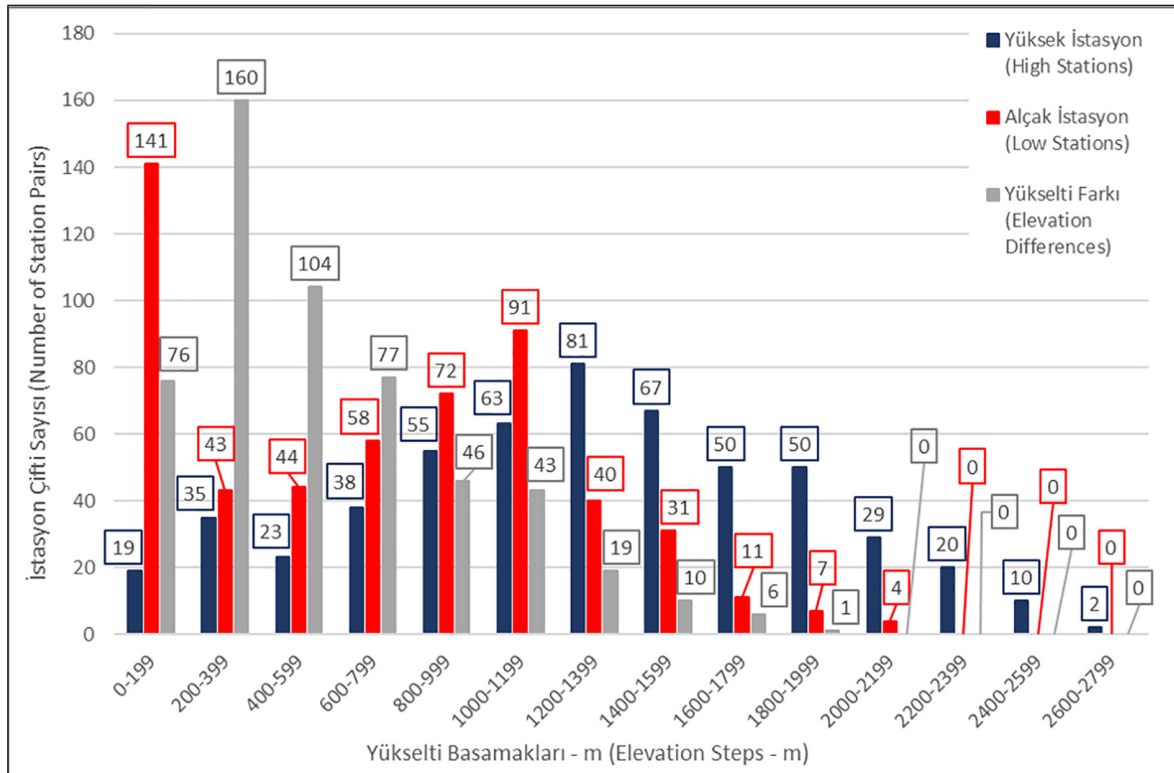
Şekil 1. Türkiye’de belirlenen istasyon çiftleri

Figure 1. Station pairs identified in Turkey

Çiftlerin 170 tanesinde yüksek istasyonun yükseltisi 1000 m’den daha alçakta, 311 tanesinde 1000 ile 2000 m arasında, 61 tanesinde 2000 ile 2800 m arasındadır (Şekil 2). Yüksek istasyon yükseltisi en fazla 2800 m kadardır. Dolayısıyla bu seviyeden sonrası için yağışın yükseltiyle değişimi hakkında bir bilgi edinilememektedir. Alçak istasyonu 1000 m’den daha alçakta olanların sayısı 358, 1000 ile 2000 m arasında olanların sayısı 180 ve sadece 4 çiftte yükselti 2000-2200 m arasındadır. Yükselti farkı ise sadece 1 çiftte 2000 m kadardır. Çiftlerin 340 tanesinde yükselti farkı 100 ile 600 m’ler arasında değişmektedir.

Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nden temin edilen aylık toplam yağış veri setinde kontrol işlemleri gerçekleştirilmiştir. Buna göre ilk olarak 500 mm ve daha büyük olan değerler veri se-

tinden çıkarılmıştır. Ayrıca kimi aylarda yağış toplamalarının 0 olarak işlendiği görülmüştür. Bunun o ay için yağış yokluğunu ya da ölçümün olmadığını mı ifade ettiği ise belirsizdir. Bu sebeple yağışın yaz ayları haricinde art arda 3 kez 0 olduğu aylar genel olarak tüm istasyonlarda veri setinden kaldırılmıştır. Bununla birlikte eğer istasyon Güneydoğu Anadolu’da bulunuyorsa yaz ve eylül ayları haricinde geri kalan aylarda verinin 3 kez üst üste 0 olup olmadığına bakılmıştır. Eğer istasyon Doğu Karadeniz’de denize dönük yamaçta yer alıyorsa yaz ayları da dahil tüm bir yılda art arda 3 kez 0 olduğu tespit edilen kısımlar veri setinden silinmiştir. Bu işlemler sonrasında çiftlerin veri uzunlukları tespit edilmiştir. 542 adet çiftte veri uzunluğu en az 60 aydan oluşmakta ve 2 çiftte de en fazla 204 olmaktadır.



Şekil 2. İstasyon çiftlerini oluşturan yüksek, alçak istasyonların yükseltileri ve yükselti farklarının yükselti basamaklarına göre dağılımı

Figure 2. Distribution of elevations and elevation differences of high and low stations forming station pairs according to elevation steps

Her iki istasyonun ortak ölçümünün olduğu aylarda, aylık yağış gradyanları hesaplanmıştır (Eşitlik 1). Yüksek istasyonun yağışından (Ph) alçak istasyonun yağışı (Pl) çıkarılmış ve bulunan yağış farkı, yükselti farkının (Eh-EI) 100'e bölünmesiyle bulunan değere bölünmüştür. Sonuçta elde edilen gradyan, her 100 m'deki yağış değişim miktarıdır.

$$G = \frac{P_h - P_l}{(E_h - E_l)/100} \quad [1]$$

3. Bulgular

Hesaplanan gradyan değeri pozitifse bu, yağışın yükseltiyle arttığını, negatifse de yağışın yükseltiyle azaldığını belirtmektedir. Yıllık ölçekte azalma en fazla her 100 m'de 150-300 mm ile örneğin Rize doğusunda, artmaysa 300-450 mm ile Antalya Körfezi doğusunda küçük bir sahada görülmektedir (Şekil 3). Çiftlerin büyük bir çoğunluğunda 25 mm'ye varan pozitif gradyan belirlenmiştir. 25-50 ve 50-75 mm artmanın olduğu çiftler, Türkiye'nin batısında ve güneydoğusunda yoğunlaşmaktadır. Karadeniz kıyılarında negatif gradyan görülmektedir. Azalmanın belirlendiği çoğu çiftte bu 25 mm kadardır.

Aylık gradyanların 45 mm azalış ile 50 mm artış arasında değiştiği belirlenmiş ise de bu ranjin yazın daraldığı anlaşılmıştır (Şekil 4). Örneğin ocak ayında Kaz Dağlarında yağış her 100 m'de 15-30 mm artarken, Cihanbeyli Platosunda 5 mm azalmaktadır. Güneydoğu Anadolu'da, yağışın artışı 5-10, 10-15, 15-30 mm arasında değişen değerlerde olmaktadır. Aynı değerlerde azalma Palandöken-Bingöl dağları ve çevrelerinde görülmektedir. Temmuzda yağışın yükseltiyle artışının çoğu çiftte en fazla 5 mm, yükseltiyle azalmanın olduğu çiftlerde de çoğunlukla bunun en fazla 5 mm olduğu belirlenmiştir. Negatif gradyan belirlenen çift sayısı kışın, yaza göre daha fazladır. Ocakta 542 çiftin %40'ında, temmuzda %33'ünde negatif gradyan hesaplanmıştır. Ortalama azalma ocak için 6.6, temmuz için 2.5 mm'dir.

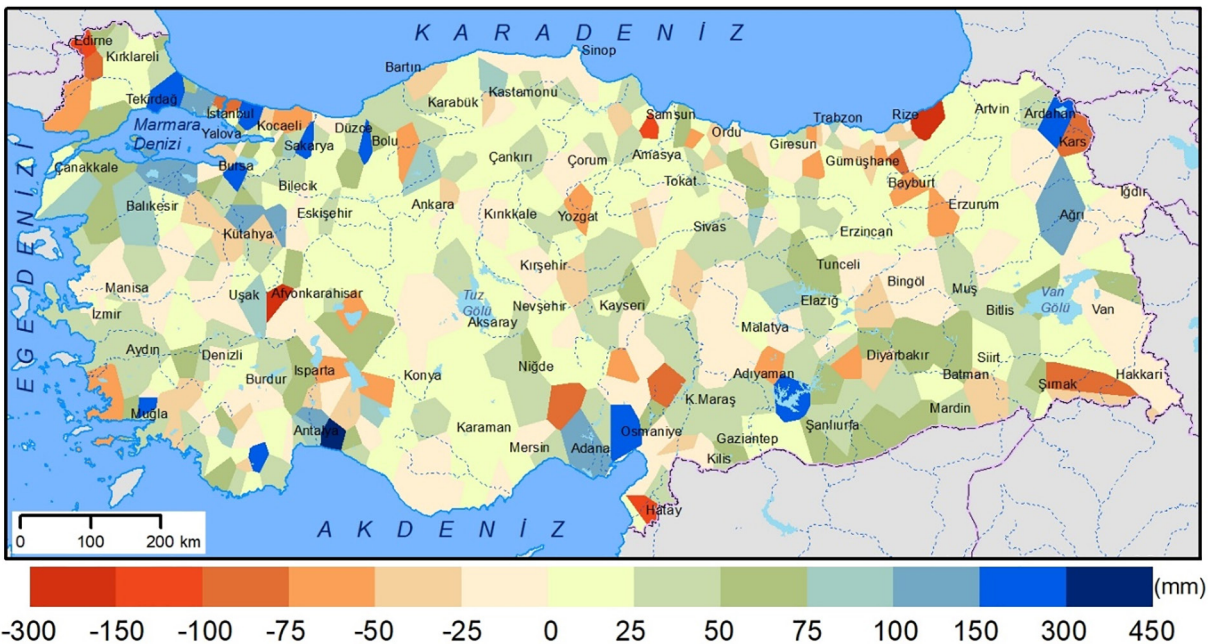
Daha bol yağışlı soğuk periyotta yağışın yükseltiyle değişimi de fazladır. Gradyanların mutlak büyüklüğünün yıl içerisindeki değişimi Şekil 5 ile gösterilmektedir.

Bir çiftin, veri uzunluğuyla eş sayıda yağış gradyanı vardır. Hiçbir çiftte veri uzunluğunu oluşturan ayların tümünde pozitif ya da negatif gradyan hesaplanmış değildir. Kimi çiftlerde pozitif, kimilerinde ise negatif gradyan diğer gradyana göre daha çok sayıdadır. 542 çiftin 412 tanesinde pozitif gradyan negatife göre, 130 tanesinde de negatif gradyan pozitifine göre daha çok kez kurulmuştur. Çiftler içerisinde hangi ayda hangi gradyanın daha çok kez ortaya çıktığına da bakılmıştır. Negatif gradyan görülme yüzdesini aylık bazda gösteren haritada (Şekil 6) belli bir mekânsal örüntü elde edebilmek güçtür. Negatif gradyan görülmesinin %50'den daha fazla olduğu çiftlerin haritalandığı Şekil 7'de de yine mekânsal çeşitlilik güçlüdür. Bununla birlikte pozitif ve negatif gradyan görülme yüzdesine odaklanılmıştır. Negatif gradyan görülme yüzdesinin kışın yaza göre daha büyük olması dikkat çekicidir. Bu belirgin mevsimsellik, gradyanların zamansal dağılımını incelemeyi zorunlu kılmaktadır. İki mevsim arasında en belirgin değişen iklimsel parametre sıcaklıktır.

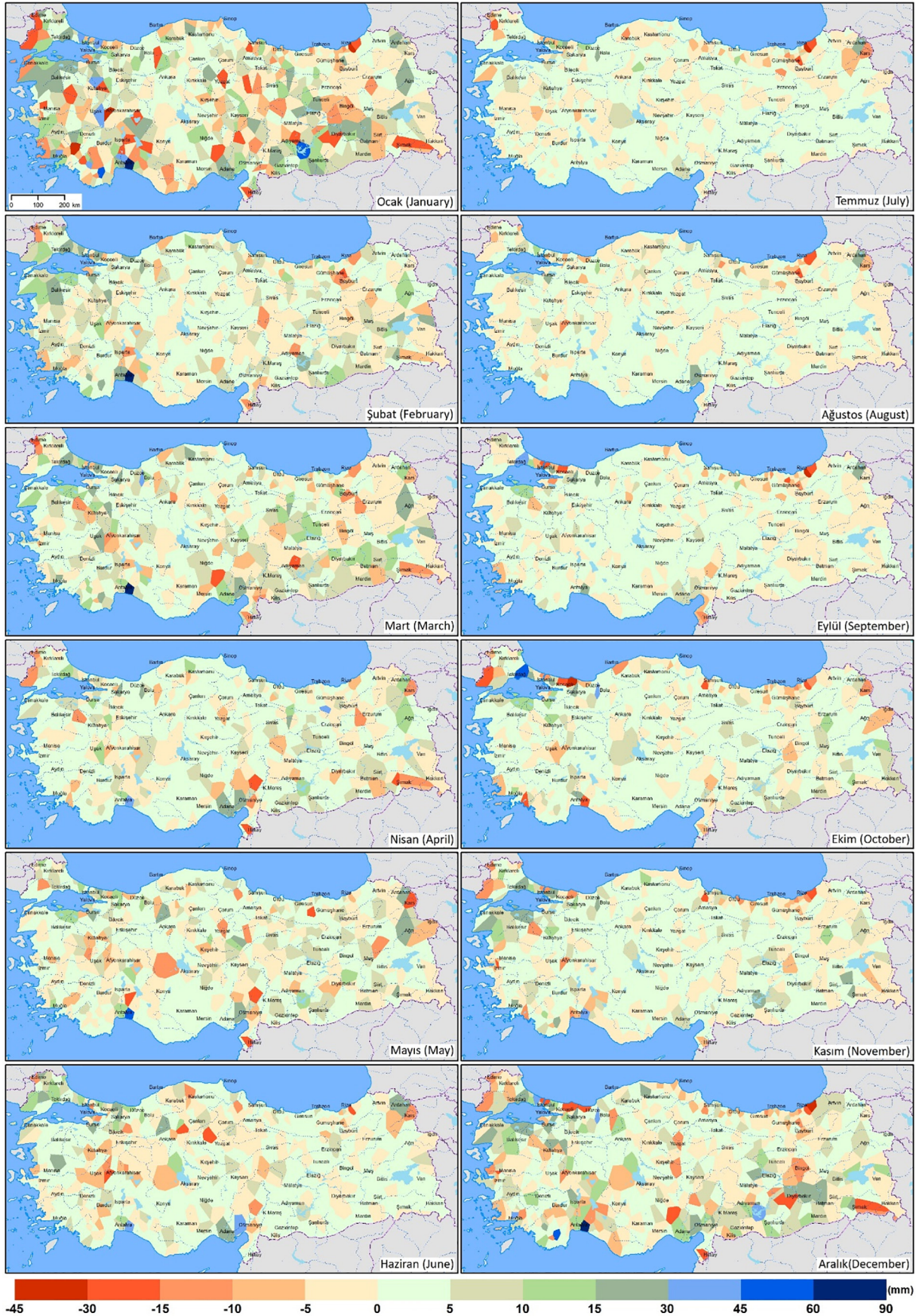
4. Tartışma ve Sonuç

Sanılanın ve kabul edilenin aksine, Basist vd. (1994) ve Glazirin (1997) gibi bazı yazarlarca da ortaya konduğu gibi yağış, yükseltiyle birlikte her yerde ve her zaman artmamaktadır. Bu durum Türkiye için de geçerlidir (Şekil 3, Şekil 4). Bununla birlikte, yağışın yükseltiyle arttığını ifade eden önermenin geçersiz olduğunu söylemek güçtür. 542 çiftten 412'sinde pozitif gradyan, 130'unda negatif gradyan diğer gradyana göre daha çok kez ortaya çıkmıştır.

Pozitif veya negatif gradyanlara ait değerler çeşitlenmekle birlikte, bu gradyanlar mutlak olarak değerlendirildiğinde daha fazla yağışlı kış aylarında değişimin miktarı da büyümektedir (Şekil 5). Türkiye'de kurak geçen yaz aylarında yağışın yükseltiyle azaldığı veya arttığı durumlarda, bu değişim de kışa göre daha küçük olmaktadır. Benzer örüntü, Varney (1920), Smallshaw (1953), Lull ve Ellison (1950), Hanson (1982) gibi yazarlar tarafından çeşitli ABD eyaletlerinde tespit edilmiştir. İstasyonlarda ölçülen yağış miktarının niceliği gradyanın niceliğini de doğrudan belirlemektedir. Bunda gradyan hesabının,



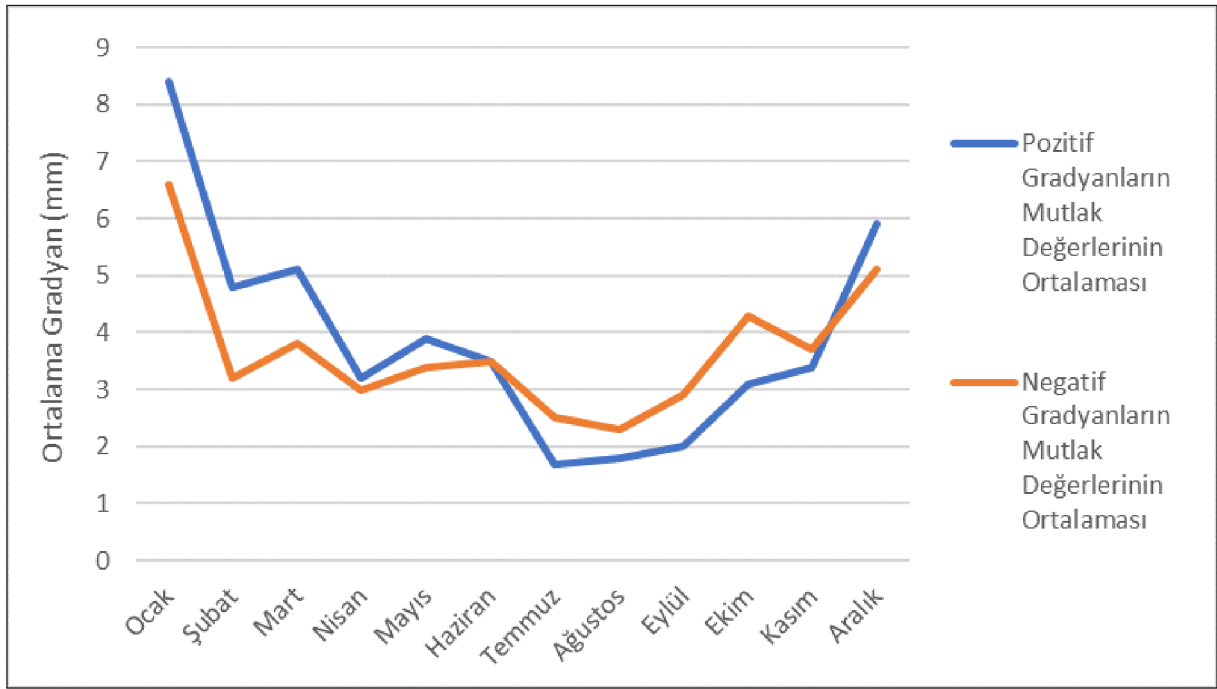
Şekil 3. Belirlenen istasyon çiftlerine ait yıllık yağış gradyanı
Figure 3. Annual precipitation gradient in the identified station pairs



Şekil 4. Belirlenen istasyon çiftlerine ait aylık yağış gradyanları
 Figure 4. Monthly precipitation gradients in the identified station pairs

karmaşık formülasyonlar içermeyecek kadar yalın olması etkili olmaktadır. Çalışma kapsamında 2005-2021 periyodu incelemeye alınmıştır, aynı çiftlerde başka bir zaman diliminde gradyan hesaplandığı takdirde, bulunan sonuç, bu çalışmada tes-

pit edilenden farklı olacaktır. Clyde (1931)'in da belirttiği gibi gradyan, yağışın bir fonksiyonu olarak zamanla değişmektedir. Bir yer için her zaman geçerli sabit bir gradyan tespit etmenin imkansızlığından ötürü, bu çalışmada esas olarak gradyanların



Şekil 5. Türkiye’de aylık pozitif ve negatif yağış gradyanlarının mutlak değerlerinin ortalaması
Figure 5. Average of absolute values of monthly positive and negative precipitation gradients in Turkey

ne olduğundan çok, pozitif ve negatif gradyanların gösterdiği yıl içerisindeki dağılışı örüntüsü üzerinde durulmaktadır.

Türkiye’de belirlenen çiftlerde hesaplanan negatif gradyanların sayısının kışın yaza göre fazlaştığı dikkati çekmektedir. Glazirin (1997) Tanrı Dağları’nın kuzeyinde gerçekleştirdiği çalışmasında yazın pozitif gradyan tespit ederken, kışın negatif gradyan tespit etmiştir ve bu durumun yağış seviyesiyle ilişkili olarak ortaya çıktığını öne sürmüştür.

Genel olarak alt troposferin soğumasıyla yağış seviyesinin alçaldığı kabul edilir (Kollias vd., 2009). Dolayısıyla kışın yağış seviyesinin yaza göre daha alçakta olması beklenmektedir. Yağış seviyesinin ya da başka bir deyişle bulut tabanının üstündeki bir seviyede yağış görülemeyeceği göz önünde bulundurulduğunda, teorik şekil (Şekil 8) pozitif-negatif gradyan kurulma durumunu açıklamaktadır. Şekil, ocağın şubatın, şubatın marttan daha soğuk olduğu varsayılarak tamamen termik koşullarla uyumlu doğrusal bir ilişkiyi yansıtmaktadır. Örneğin yağış seviyesi şubat-kasımındaki gibi bir konumdaysa A ve B yağış ölçerleri arasında pozitif gradyan görülmesi olası iken, B ve C yağış ölçerleri arasında gradyan negatif olacaktır.

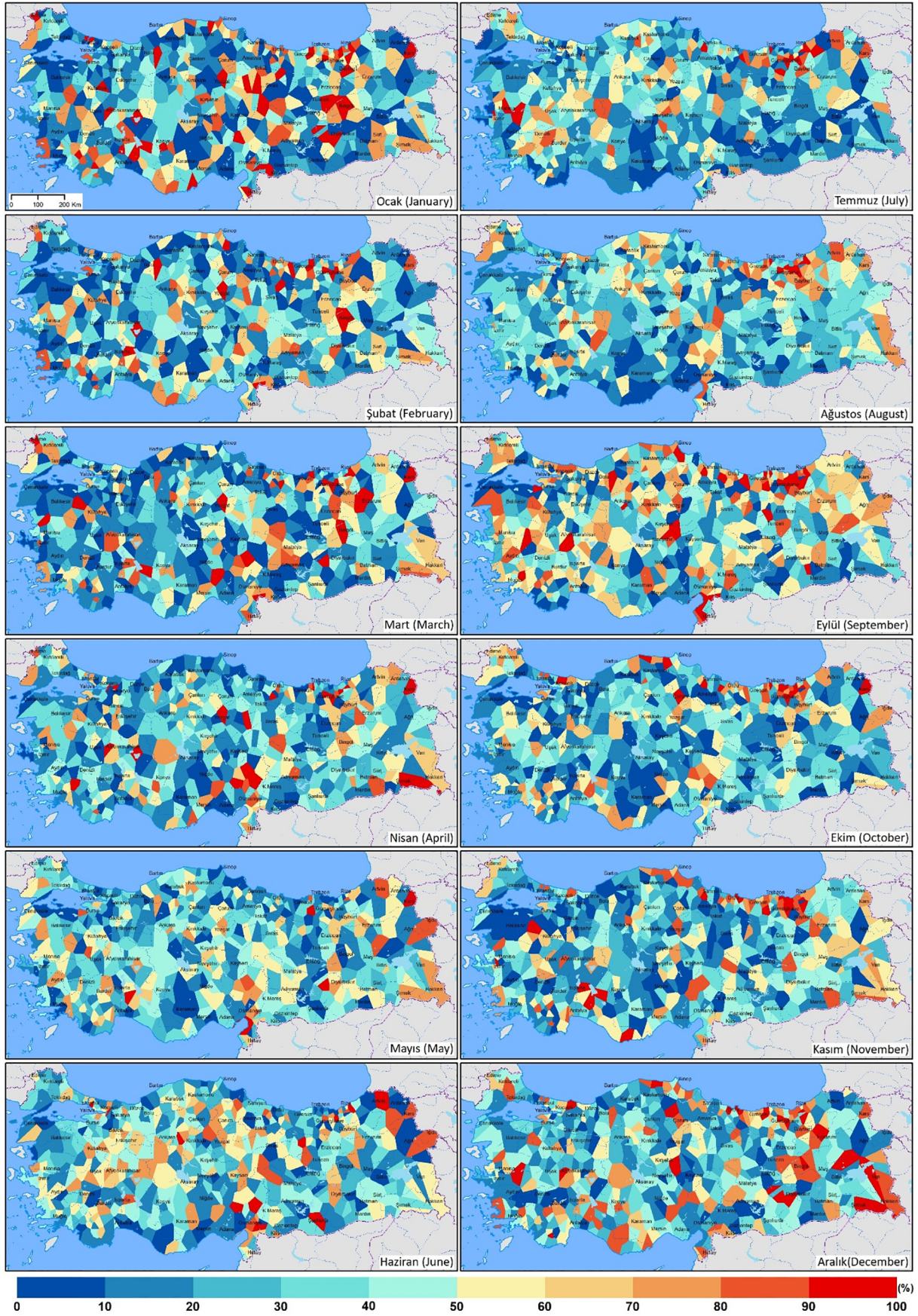
İkinci bir teorik arka plan, yağış süreci düşünüldüğünde ortaya çıkmaktadır. Çiy noktası sıcaklığı, bulut tabanının kurulduğu seviyedeki sıcaklıktır. Buna göre, yağış için ya hava parseli çiy noktası sıcaklığına kadar soğumalı, ya da hava parselinin nem içeriği artmalıdır. Birinci durum, herhangi bir su kütlesine yakınlıktan çok da etkilenmeksizin kış şartlarında; ikinci durum ise su kütlesine yakınlığın etkisinin iyice belirginleştiği yaz şartlarında geçerlidir. Başka bir açıdan, denizden uzak kara içlerinde yağış seviyesi termik koşullarla uyumlu bir şekilde değişirken, su kütlesine yakın yerlerde seviye, sıcaklığın ve nemliliğin bileşkesi olarak belirlemektedir. Bu bakımdan, denize yakın yerlerde yağış seviyesinin daha düzensiz olması bek-

lenmelidir. Yağış ile yağışma seviyesi arasında güçlü bir ilişki olduğu (Kollias vd., 2009) dikkate alınırsa, yağış düzensizliği de denize yakın yerlerde artmalıdır. Nitekim, Yılmaz vd. (2012), Türkiye’de en fazla yağış düzensizliğini, kıyı bölgelerde belirlemiştir. Kıyı bölgeler içerisinde ise sırasıyla Karadeniz, Ege ve Akdeniz şeklinde artan düzensizliğin, deniz suyu sıcaklığı artışıyla uyumluluk göstermesi dikkat çekicidir. Sıcaklık ve nemlilik yağışma seviyesini; yağışma seviyesi, yağışı-yağış gradyanını kontrol etmektedir.³

Türkiye’de yağış düzensizliğinin incelendiği çalışmada (Yılmaz vd., 2012), Keban Barajı çevresindeki düzensizliğin de en az Karadeniz Bölgesi’ndeki kadar olduğuna ulaşılmıştır. Keban Barajı kuzeydoğusunda oluşturulan Hozat (1485 m) - Pertek Aşağı Gülbahçe Köyü (1056 m) çiftinde, negatif gradyan görülme yüzdesi yıl boyunca 50’yi geçmemekle birlikte (Şekil 9), yazın diğer aylara göre negatif gradyan görülmesi daha olasıdır. Sıcak aylarda buharlaşmayla atmosfere sağlanan daha fazla su buharı yağışma seviyesinin yükselmesini sınırlamaktadır.

Nevşehir Platosunda, alçak istasyon olarak 905 m’deki Gülşehir istasyonu; 1275 m’deki Hacıbektaş, 1260 m’deki Nevşehir ve 1250 m’deki Acıgöl istasyonlarıyla 3 çift ve Acıgöl ile Güzeyurt (1524 m) istasyonu ile 1 olmak üzere 4 çift belirlenmiştir (Şekil 10). Bu çiftlerde negatif gradyan görülme yüzdesi ilkbahar aylarında 40’lar civarındadır. Kış aylarında yüzdenin büyüdüğünü (kısmen Acıgöl-Gülşehir çifti hariç tutulursa) söylemek mümkündür. Burada dikkati çeken, yağışma seviyesinin yüksek olduğu, bu sebeple pozitif gradyanın beklendiği yaz aylarında negatif gradyan görülme yüzdesinin, kıştaki kadar yüksek olabiliyorken (%70-90), çok düşük de olabilmesidir (%0-15). Birbirine yakın bu çiftlerde ilkbaharda gözlemlenen tutarlılığı karşıt olarak, yaz aylarında beliren bu uyumsuzluğun konvektif yağış hücreleriyle alakalı olarak ortaya çıktığı düşünülmektedir. Sharon, (1972), yıllık yağış miktarının 30-35 mm arasında

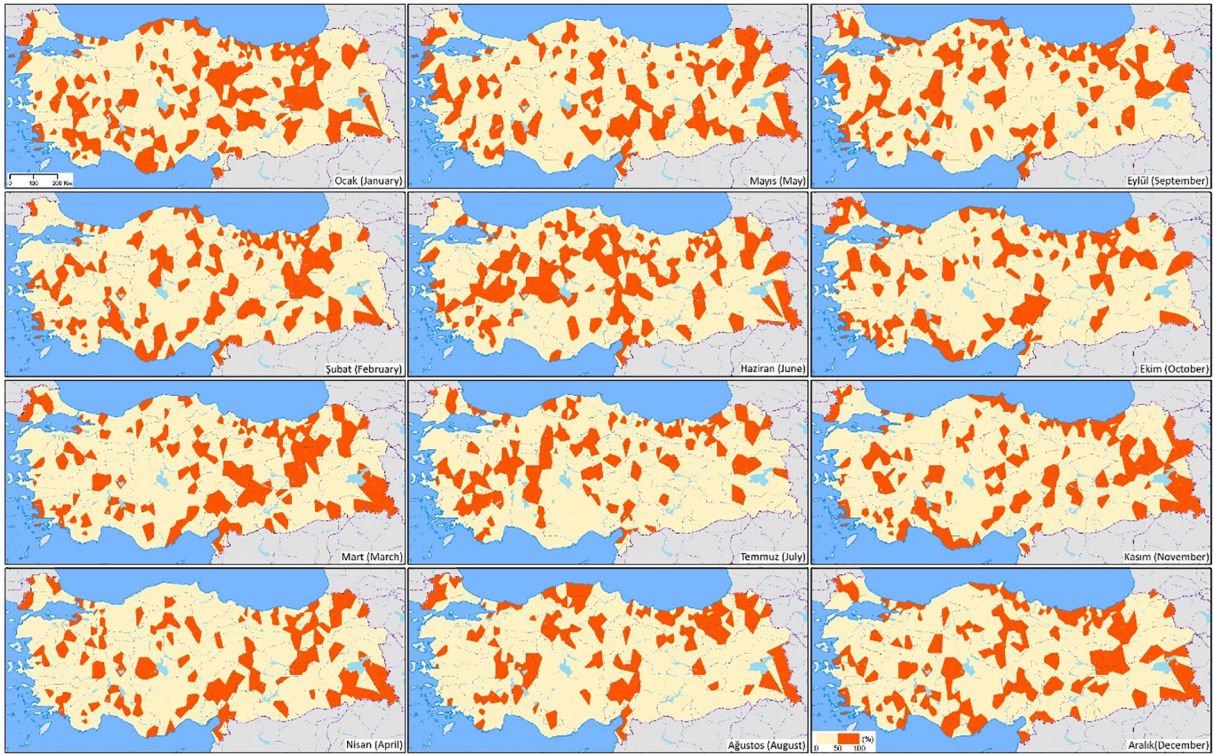
³ Yağış gradyanının, yalın bir eşitlikle elde edilmesinin, yağış ve yağış gradyanı arasındaki doğrusal ilişkiyi bozmadığı düşünülmektedir. Daha önce belirtildiği gibi yağış gradyanı, yağışın doğrudan bir ifadesidir.



Şekil 6. Türkiye’de belirlenen istasyon çiftlerinde aylık negatif gradyan görülme yüzdeleri
 Figure 6. Monthly negative gradient percentages in the identified station pairs in Turkey

değiştirdiği Arava Vadisi’nde (Ölü Deniz güneyi, İsrail) yağış deseninin zamansal ve mekânsal bağlamda güçlü bir düzensizlik sergilediğine ulaşmıştır. Görece düzenli desen, daha çok kış aylarına rastlar; ilkbahar ve sonbahar yağışları konvektif yağış

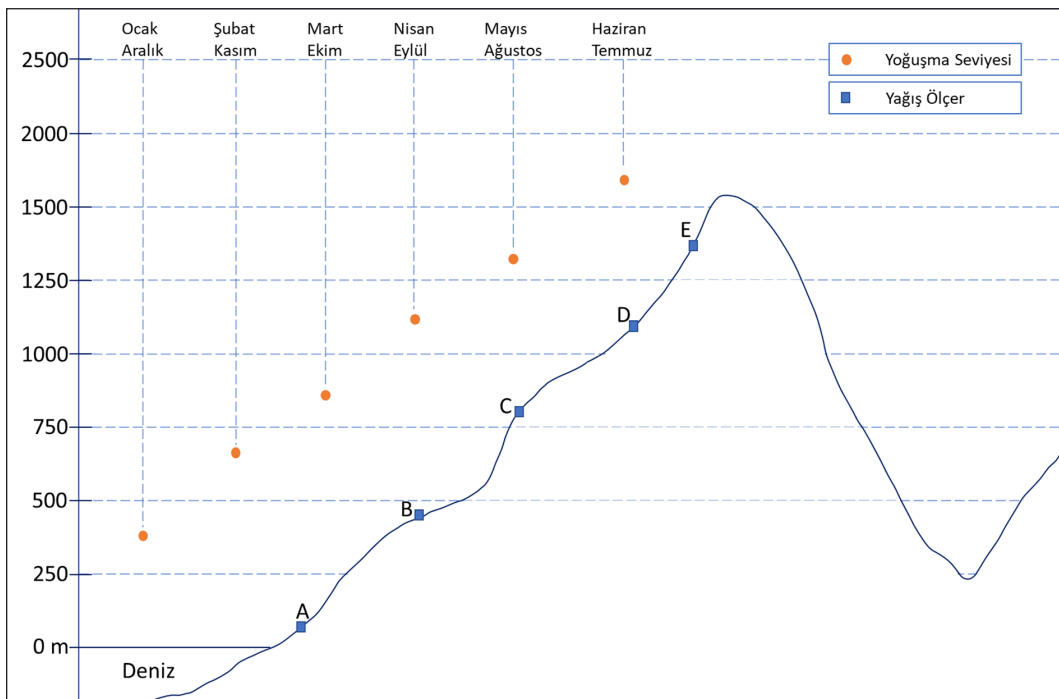
hücrelerinin rastlantısal gelişimiyle uyumlu değişmektedir. Bu hücrelerin ortalama çapını 5 km olarak bulan Sharon (1972), kurak ortam koşullarında hücrelerin birbirinden zamansal ve mekânsal olarak belirgin bir şekilde ayrıldığını, nispeten nemli



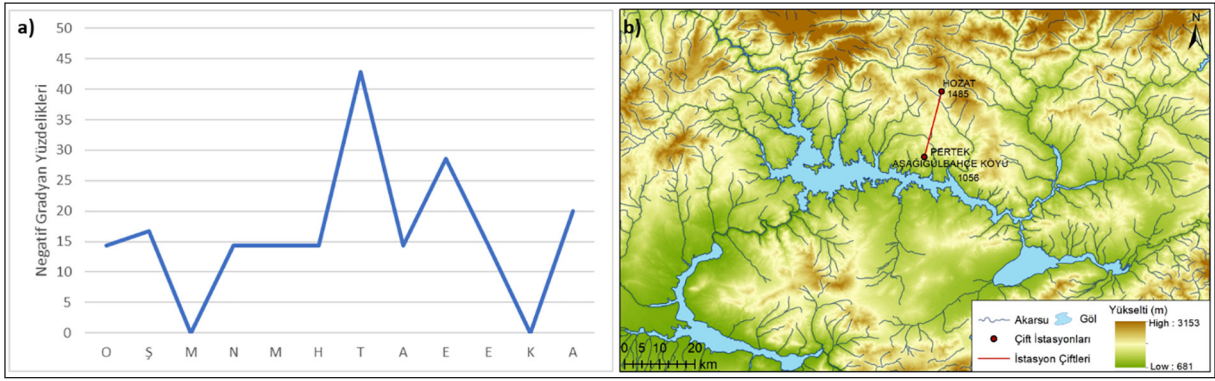
Şekil 7. Aylık negatif gradyan yüzdesinin 50'den büyük olduğu istasyon çiftleri
Figure 7. Station pairs where the monthly negative gradient percentage is greater than 50

yerlerde hücrelerin kümeler oluşturabileceğini ya da birbirine yakın gelişebileceğini tartışmaktadır. Kuraklık Nevşehir Platosunda, Arava Vadisindeki kadar şiddetli olmasa da yazın burada konvektif yağış hücreleri gelişebilmektedir. Hücrelerin sınırlı etki alanları, çift olarak belirlenen her iki istasyonun da aynı yağışı alıp almadığını belirsizleştirir. Başka sözlerle, örneğin bir istasyon bir hücreden gelen yağışı ölçebilirken, diğerinin hücrenin dışında kalması, dışarıda kalanın yüksek veya alçak istasyon olmasına bağlı olarak her iki gradyanın da ortaya çıkmasını eş olasılıklı kılmaktadır. Yağış hücrelerinin etkili olduğu sahalarda ve zaman dilimlerinde gradyanı öngörebilmek güçleşmektedir.

Eriñç (1961)'in Doğu Karadeniz'de fön etkisini incelediği Giresun, Trabzon ve Rize istasyonlarıyla çiftler oluşturulmuştur (Şekil 11). İnşidibi (1113m) - Giresun (38 m), Maçka Altındere (1030 m) - Trabzon (25 m) ve Andon (615 m) - Rize (3 m) istasyonlarıyla oluşturulmuş çiftlerde sonbahar sonu-kış başında negatif gradyan görülme yüzdesi 80'ler civarındadır, şubata doğru 40-60 seviyelerine kadar düşmektedir. 3 çiftte de kışın negatif gradyan görülme yüzdesi, beklendiği gibi yazdakinden daha yüksektir. Ancak yıl içerisindeki en düşük yüzdeler yaz değil, ilkbahara rastlamaktadır. Eriñç (1961)'in de belirttiği gibi bu mevsimde fön etkili olmaktadır. Yoğuşma seviyesinin

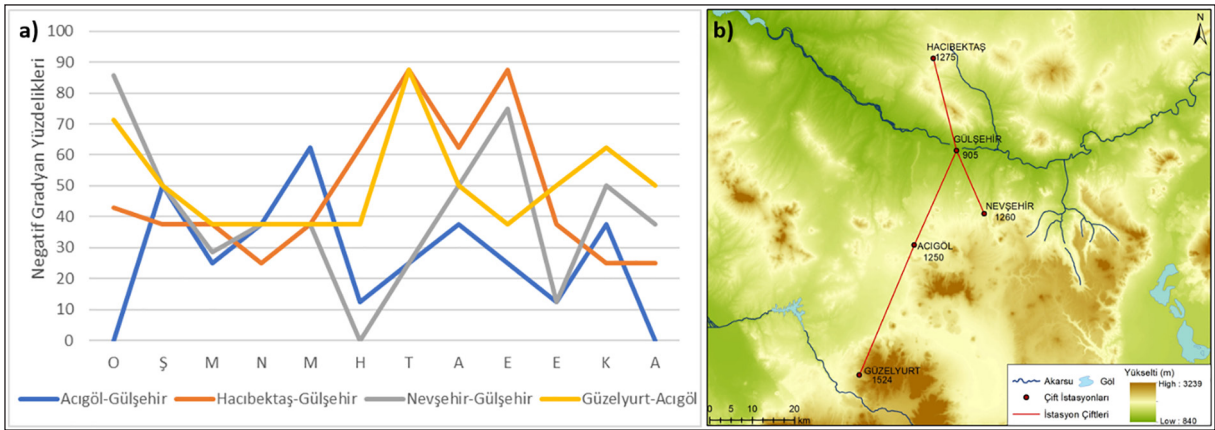


Şekil 8. Yoğuşma seviyesinin aylara göre değişimi
Figure 8. Variations of condensation level by months



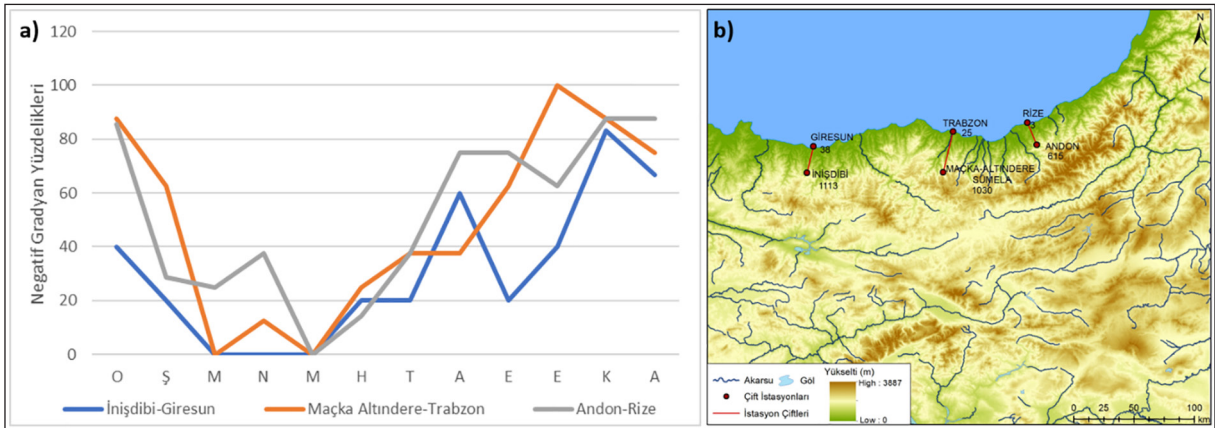
Şekil 9. a) Hozat-Pertek Aşağıgülbahçe Köyü çiftinde negatif yağış gradyanı görülme yüzdesinin aylara göre değişimi, b) Hozat-Pertek Aşağıgülbahçe Köyü çifti çevresi yükselti haritası

Figure 9. a) Variations of the percentage of negative precipitation gradient in Hozat-Asagigulbahce Koyu pair by months, b) Elevation map of around Hozat-Asagigulbahce Koyu pair



Şekil 10. a) Nevşehir Platosundaki istasyon çiftlerinde negatif yağış gradyanı görülme yüzdesinin aylara göre değişimi, b) Nevşehir Platosundaki istasyon çiftleri yükselti haritası

Figure 10. a) Variations of the percentage of negative precipitation gradient in station pairs in the Nevşehir Plateau by months, b) Elevation map of station pairs in the Nevşehir Plateau



Şekil 11. a) Doğu Karadeniz'deki istasyon çiftlerinde negatif yağış gradyanı görülme yüzdesinin aylara göre değişimi, b) Doğu Karadeniz'deki istasyon çiftleri yükselti haritası

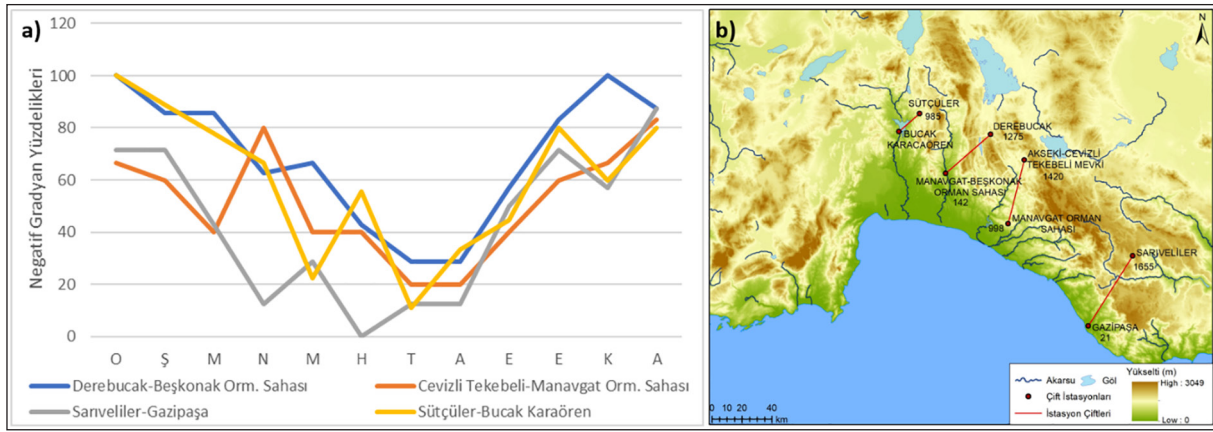
Figure 11. a) Variations of the percentage of negative precipitation gradient in station pairs in the Eastern Black Sea by months, b) Elevation map of station pairs in the Eastern Black Sea

alçılması, fön koşullarında olanaksızlaşmaktadır. Fön periyodu içerisinde görülen yağışlarda negatif gradyan neredeyse hiç kurulmamaktadır.

Antalya Körfezi'nde batı-güneybatılı yağış sistemlerini dik karşılayan kıyılarda, Sütçüler (985 m) - Bucak Karacaören (377 m), Derebucak (1275 m) - Manavgat Beşkonak Orman Sahası (142 m), Akseki Cevizli Tekebeli Mevki (1420 m) - Manavgat Orman Sahası (998 m) ve Sarıveliler (1655 m) - Gazipaşa (21 m) olmak üzere 4 çift oluşturulmuştur (Şekil 12). Çiftlerin hepsi benzer

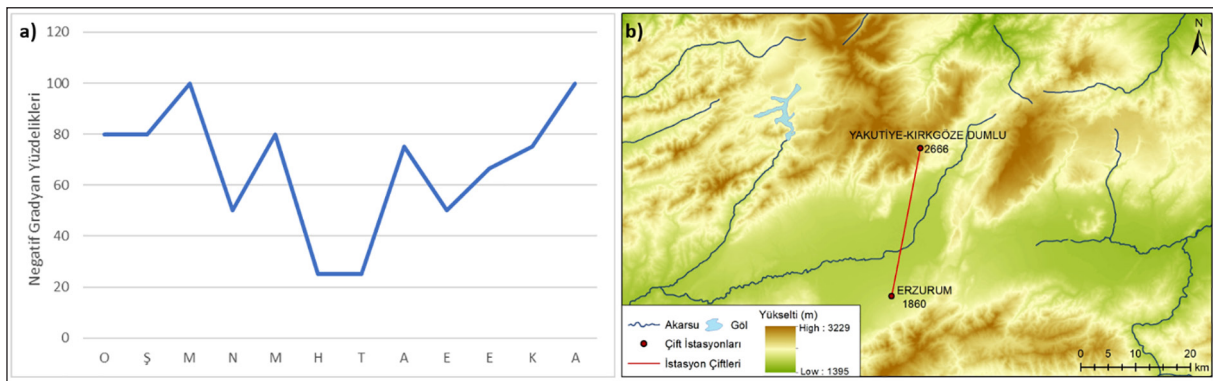
örüntüye sahiptir. Kışın %60'tan daha az olmayan hatta %100'ü bulan bir düzeyde negatif gradyanın görülmesi söz konusudur. Yıl içerisindeki en düşük düzeyler, beklendiği gibi yaz aylarıdır.

Yağış gradyanı üzerinde yoğunlaşma seviyesinin etkisine işaret eden Glazirin (1997), bu sonuca Tanrı Dağları'nın kuzeyinde ulaşmıştır. Türkiye'de karasallığı ve yükseltisi bakımından Tanrı Dağları'na en benzer örnek Erzurum'da oluşturulmuştur (Şekil 13). Burada ulaşılan sonuçlar Glazirin (1997)'in sonuçlarıyla uyumludur. Buna göre Yakutiye Kırkgöze Dumlu (2666 m) - Er-



Şekil 12. a) Antalya Körfezi doğusundaki istasyon çiftlerinde negatif yağış gradyanı görülme yüzdesinin aylara göre değişimi, b) Antalya Körfezi doğusundaki istasyon çiftleri yükselti haritası

Figure 12. a) Variations of the percentage of negative precipitation gradient in station pairs in east of Antalya Gulf by months, b) Elevation map of station pairs in east of the Gulf of Antalya



Şekil 13. a) Yakutiye Kırkgöze-Erzurum çiftinde negatif yağış gradyanı görülme yüzdesinin aylara göre değişimi, b) Yakutiye Kırkgöze-Erzurum çifti çevresi yükselti haritası

Figure 13. a) Variations of the percentage of negative precipitation gradient in Yakutiye Kırkgöze-Erzurum pair by months, b) Elevation map of around Yakutiye Kırkgöze-Erzurum pair

Erzurum (1860 m) çiftinde negatif gradyanın görülme yüzdesi kışın 80'den az değilken, yazın 20'ye kadar düşmektedir.

Atalay (2010, s. 476) Doğu Karadeniz'de denize dönük yamaçlarda yağışın yükseltiyle artışının belirgin olmadığını, artmadan söz edilecekse bunun için sıcak periyodun daha uygun olduğundan bahsederek Glazirin (1997)'in tespitiyle örtüşen bir özelliğe işaret etmektedir. Bu çalışmayla belirlendiği üzere kışın çiftlerde negatif gradyan görülme yüzdesinin, yazdakinden daha büyük olmasının muhtemel açıklayıcısı yoğunlaşma seviyesidir. Sonuç olarak, bu çalışmanın çıktılarını, yağış gradyanının, yoğunlaşma seviyesi tarafından; yoğunlaşma seviyesinin de sıcaklık ve nemlilik şartları tarafından kontrol edildiği şeklinde özetlemek mümkündür. Konvektif yağış hücrelerinin etkili olduğu zaman dilimlerinde ve sahalarda gradyanın ne olacağını öngörebilmenin ise güç olduğu anlaşılmıştır. Bununla birlikte, yağış-yükselti, yoğunlaşma seviyesi-yağış gradyanı ilişkilerini aydınlatmak üzere daha kapsamlı çalışmalara ihtiyaç vardır.

Çıkar Çatışması/Conflict of Interest: Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması yaşamadıklarını beyan ederler./The authors declare that they have no conflicting interest.

Veri erişebilirliği/Data availability: Mevcut çalışma sırasında kullanılan ve/veya analiz edilen veri setleri, makul bir talep üzerine ilgili yazardan temin edilebilir./The datasets used and/or analysed during the current study are available from the corresponding author on reasonable request.

Yazar katkısı/Authors' contribution: Giriş bölümü, B. K. tarafından hazırlanmıştır. Makalenin metodoloji ve tartışma bölümleri B.K ve E.Y. tarafından oluşturulmuştur. Introduction was created by B. K. Methodology and discussion parts of the article were created by the B.K and E.Y.

Kaynakça

- Ardel, A. (1960). *Umumi coğrafya dersleri* (2. baskı). İstanbul Üniversitesi Yayınları.
- Atalay, İ. (2010). *Uygulamalı klimatoloji* (1. baskı). META Basım Matbaacılık Hizmetleri.
- Aydınözü, D. (2008). Yükseldikçe bölgelerimize göre her 100 m.deki yağış artışı üzerine bir deneme. *Marmara Coğrafya Dergisi*, 17, 172–184.
- Basist, A., Bell, G. D., & Meentemeyer, V. (1994). Statistical relationships between topography and precipitation patterns. *Journal of Climate*, 7, 1305–1315. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1994\)007<1305:SRBTAP>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1994)007<1305:SRBTAP>2.0.CO;2)
- Biricik, A. S. (2009). *Fiziki coğrafya-jeomorfoloji ile hidrolojinin temel prensipleri ve araştırma yöntemleri*. Gonca Yayınevi.
- Burns, J. I. (1953). Small-scale topographic effects on precipitation distribution in San Dimas Experimental Forest. *Transactions, American Geophysical Union*, 34(5), 761–767. <https://doi.org/10.1029/TR034i005p00761>

- Clyde, G. D. (1931). Relationship between precipitation in valleys and on adjoining mountains in northern Utah. *Monthly Weather Review*, 59(3), 113–117. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1931\)59<113:RBPIVA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1931)59<113:RBPIVA>2.0.CO;2)
- Davis, W. M. (1894). Physical geography in the university. *The University of Chicago Press Journal*, 66–100. <https://doi.org/10.1086/606891>
- Davis, W. M. (1899). The geographical cycle. *The Geographical Journal*, 14(5), 481–504.
- Diodato, N. (2005). The influence of topographic co-variables on the spatial variability of precipitation over small regions of complex terrain. *International Journal of Climatology*, 25(3), 351–363. <https://doi.org/10.1002/joc.1131>
- Eriş, S. (1961). Doğu Karadeniz kıyılarında fön ve termik tesirleri hakkında. *Türk Coğrafya Dergisi*, 21, 15–30.
- Eriş, E., & Ağıriloğlu, N. (2009). Effect of coastline configuration on precipitation distribution in coastal zones. *Hydrological Processes*, 23(25), 3610–3618. <https://doi.org/10.1002/hyp.7464>
- Fernow, B. E., & Gannett, H. (1888). The influence of forests on the quantity and frequency of rainfall. *Science*, 12(303), 242–244. <https://doi.org/10.1126/science.ns-12.303.242>
- Glazirin, G. E. (1997). Precipitation distribution with altitude. Theoretical and Applied Climatology, 58, 141–145. <https://doi.org/10.1007/BF00865014>
- Hanson, C. L. (1982). Distribution and stochastic generation of annual and monthly precipitation on a mountainous watershed in Southwest Idaho. *Water Resources Bulletin*, 18(5), 875–883. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1982.tb00085.x>
- Hatipoğlu, İ. K., & Uzun, A. (2020). Melet Irmağı Havzası'nda erozyon riskinin MICONA modeli ile değerlendirilmesi. *Türk Coğrafya Dergisi*, 74, 17–31. <https://doi.org/10.17211/tcd.644135>
- Heberden, W. (1769). Of the different quantities of rain, which appear to fall, at different heights, over the same spot of ground. *Philosophical Transactions (1683-1775)*, 59, 359–361. <http://dx.doi.org/10.1098/rstl.1769.0047>
- Hilgard, E. W. (1893). The physical and industrial geography of California. *The Geographical Journal*, 1(6), 536–539. <https://doi.org/10.2307/1773968>
- Homersham, S. C. (1851). An account of some observations made on the depth of rain which falls in the same localities at different altitudes in the hilly districts of Lancashire, Cheshire and Derbyshire. *Royal Society Publishing*, 5, 759–760. <https://doi.org/10.1098/rspl.1843.0159>
- Işık, F., Bahadır, M., & Çağlak, S. (2019). Artvin ilinde yağışın mekânsal dağılışı üzerine bir deneme, Schreiber formülü. *Uluslararası Artvin Sempozyumu, Ekim 2018*, 391–403.
- Jevons, W. S. (1861). On the deficiency of rain in an elevated rain-gauge, as caused by wind. *London, Edinburgh and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 22(149), 421–433. <https://doi.org/10.1080/14786446108643180>
- Kollias, P., Miller, M. A., Johnson, K. L., Jensen, M. P., & Troyan, D. T. (2009). Cloud, thermodynamic, and precipitation observations in West Africa during 2006. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 114(13), 1–16. <https://doi.org/10.1029/2008jd010641>
- Lee, C. H. (1911). Precipitation and altitude in the Sierra. *Monthly Weather Review*, 39(7), 1092–1099. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1911\)39<1092b:PAaits>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1911)39<1092b:PAaits>2.0.CO;2)
- Linsley, R. K. (1958). Correlation of rainfall intensity and topography in Northern California. *Transactions American Geophysical Union*, 39(1), 15–18. <https://doi.org/10.1029/TR039i001p00015>
- Lull, H. W., & Ellison, L. (1950). Precipitation in relation to altitude in Central Utah. *Ecology*, 31(3), 479–484. <https://doi.org/10.2307/1931507>
- McAdie, A. G. (1909). The rainfall of Hetch Hetchy Valley. *Monthly Weather Review*, 37(12), 1117–1129. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1909\)37\[1117:TROHHV\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1909)37[1117:TROHHV]2.0.CO;2)
- McAdie, A. G. (1914). The rainfall of California. *University of California Publications in Geography*, 1, 127–140. <https://doi.org/10.2307/201288>
- Poulter, R. M. (1936). Configuration, air mass and rainfall. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 62, 49–76. <https://doi.org/10.1002/qj.94706226308>
- Robbins, W. W. (1910). Climatology and vegetation in Colorado. *Botanical Gazette*, 49(4), 256–280. <https://doi.org/10.1086/330175>
- Sarış, F., Keserci, F., & Bayrakdar, C. (2021). Yerel yağış değişkenliğine bir örnek: Fethiye-Söğütlüdere karşılaştırması. *Türk Coğrafya Dergisi*, 77, 87–98. <https://doi.org/10.17211/tcd.928567>
- Seko, K. (1987). Seasonal variation of altitudinal dependence of precipitation in Langtang Valley, Nepal Himalayas. *Bulletin of Glaciological Research*, 5, 41–47.
- Sevruk, B., & Miegilitz, K. (2002). The effect of topography, season and weather situation on daily precipitation gradients in 60 Swiss valleys. *Water Science and Technology*, 45(2), 41–48. <https://doi.org/10.2166/wst.2002.0025>
- Sharon, D. (1972). The spottiness of rainfall in a desert area. *Journal of Hydrology*, 17, 161–175. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(72\)90002-9](https://doi.org/10.1016/0022-1694(72)90002-9)
- Smallshaw, J. (1953). Some precipitation-altitude studies of the Tennessee Valley Authority. *Transactions, American Geophysical Union*, 34(4), 583–588. <https://doi.org/10.1029/TR034i004p00583>
- Spreen, W. C. (1947). A determination of the effect of topography upon precipitation. *Transactions, American Geophysical Union*, 28(2), 285–290. <https://doi.org/10.1029/TR028i002p00285>
- Unwin, D. J. (1969). The areal extension of rainfall records: An alternative model. *Journal of Hydrology*, 7, 404–414. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(69\)90094-8](https://doi.org/10.1016/0022-1694(69)90094-8)
- Varney, B. M. (1920). Monthly variations of the precipitation-altitude relation in the central Sierra Nevada of California. *Monthly Weather Review*, 48(11), 648–650. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1920\)48<648:MVOTPR>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1920)48<648:MVOTPR>2.0.CO;2)
- Wang, L., Chen, R., Song, Y., Yang, Y., Liu, J., Han, C., & Liu, Z. (2018). Precipitation–altitude relationships on different timescales and at different precipitation magnitudes in the Qilian Mountains. *Theoretical and Applied Climatology*, 134(3–4), 875–884. <https://doi.org/10.1007/s00704-017-2316-1>
- Yılmaz, E., Çalışkan, O., Çiçek, İ., & Türkoğlu, N. (2012). Türkiye’de sıcaklık ve yağışın düzensizliği 1964-2003. VII. TÜCAUM Coğrafya Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 57–67.
- Yılmaz, E., & Darende, V. (2021). Türkiye’de yağış ölçümü yapılan manuel-otomatik meteoroloji gözlem istasyonu verilerinin karşılaştırılması. *Türk Coğrafya Dergisi*, 77, 53–66. <https://doi.org/10.17211/tcd.834500>



Land Change Science: Understanding the complexity of monitoring protected areas in savanna ecosystems of Sub-Saharan Africa¹

Arazi Değişim Bilimi: Sahra Altı Afrika'daki savan ekosistemlerinde korunan alanları uzaktan algılama ile gözlemlenmenin zorluklarını anlamak²

Mehmet Ozdes ^{a*}  Jane Southworth ^b 

^a Tekirdağ Namık Kemal University, Faculty of Engineering, Environmental Engineering, Tekirdağ, Türkiye.

^b University of Florida, Liberal Arts and Sciences, Geography, Gainesville, FL, USA.

ORCID: M.O. 0000-0003-3538-8861; J.S. 0000-0002-7246-7879

BİLGİ / INFO

Geliş/Received: 03.12.2022

Kabul/Accepted: 24.06.2023

Anahtar Kelimeler:

Arazi değişim bilimi
Arazi kullanımı ve arazi örtüsü değişimi
Korunan alanlar
Afrika savan ekosistemi
Uzaktan algılama

Keywords:

Land change science
Land use and land cover change
Protected areas
African savanna ecosystem
Remote sensing

*Sorumlu yazar/Corresponding author:

(M. Ozdes) mozdes@nku.edu.tr

DOI: 10.17211/tcd.1211634



Atf/Citation:

Ozdes, M., & Southworth, J. (2023). Land Change Science: Understanding the complexity of monitoring protected areas in savanna ecosystems of Sub-Saharan Africa. *Türk Coğrafya Dergisi*, (82), 63-76. <https://doi.org/10.17211/tcd.1211634>

ABSTRACT / ÖZ

Land Change Science (LCS), as a coupled human-environment system, is a multidisciplinary area that explores the dynamics of land use and land cover to understand key theories, problems, methodologies, and model applications. The present review integrated the research that have been conducted in the savanna ecosystem of Sub-Saharan Africa from a geographical perspective. The present study elaborates contemporary issues and thoughts in terms of several key aspects: (1) Impacts of protected areas on the surrounding natural environment, wildlife, and socio-economic activities of humans, (2) with the impact of new developments in remote sensing (RS) technology, observations of land change and the changes in the relationship between ecology and RS, (3) the effects of developments in RS on our environmental perspective and new connection opportunities for interrelated scientific disciplines, (4) the vulnerability of the savanna vegetation due to its multilayered and complex structure. Due to the changing climatic conditions, it is inevitable that ecosystems will encounter various problems in the near future, especially in Sub-Saharan Africa. Understanding the complex savanna ecosystem remains a challenge for researchers. Therefore, it is very essential to observe better and understand the nature and socio-economic cycle of human for a sustainable future of savanna ecosystems.

Bütünleşik bir insan-çevre sistemi olarak Arazi Değişim Bilimi (ADB), temel teorileri, sorunları, metodolojileri ve model uygulamaları anlamak için arazi kullanımı ve arazi örtüsünün dinamiklerini araştıran multidisipliner bir bilim dalıdır. Derleme şeklindeki bu çalışma Sahra Altı Afrika'daki savan ekosistemi bölgelerinde bugüne kadar yapılmış olan çalışmalarını bir araya getirerek coğrafi bir perspektif çerçevesinde incelemektedir. Yapılan çalışmada; (1) Sahra Altı Afrika'da, korunan alanların, bu alanların sınırlarındaki insan yaşamı ve onların sosyo-ekonomik faaliyetlerin yanı sıra doğal çevre ve vahşi yaşam üzerinde önemli ölçüde etkiye sahip olduğunun anlaşılmaktadır. (2) ADB alanında uzaktan algılama (UZAL) teknolojisindeki yeni gelişmeler, arazi değişimi gözlemlerinin yanı sıra ekoloji ve UZAL arasındaki ilişkiyi de etkilemektedir. (3) UZAL teknolojisi ekolojik perspektif bilimizi geliştirdiği gibi aynı zamanda birbiriyle ilişkili teknolojisi ekolojik perspektif bilimizi geliştirdiği gibi aynı zamanda birbiriyle ilişkili bilimsel disiplinlerle bağlantı kurmak için yeni fırsatlar da yaratmıştır. (4) Savan bitki örtüsü, katmanlı ve karmaşık yapısı nedeniyle diğer birçok ekosistemden çok daha kırılgandır. Bu nedenle, değişen iklim koşulları ve çevresel değişimler nedeniyle özellikle Sahra Altı Afrika'da ekosistemlerin yakın gelecekte çeşitli sorunlarla karşılaşması kaçınılmazdır. ADB'deki yeni gelişmelere rağmen bu karmaşık ekosistemi anlamak araştırmacılar için bir zorluk teşkil etmeye devam etmektedir. Dolayısıyla savan ekosistemlerinde sürdürülebilir bir gelecek için doğal yaşam ve sosyo-ekonomik döngüyü daha iyi gözlemlemek ve anlamak oldukça önemlidir.

¹ This study was produced from the first author's doctoral thesis.

² Bu çalışma birinci yazarın doktora tezinden üretilmiştir.

1. Introduction

The hydrosphere, geosphere, biosphere, and atmosphere are changing from their natural states in the traditional sense because of increased human consumption needs (Goudie, 2008). One of the key questions from the past and present regarding the conflict of human-environmental systems is: “Do land use activities degrade the global environment in ways that ultimately harm ecosystem services, human well-being, and long-term sustainability?” (Turner et al., 2007). As an integrated human-environment system, LCS has emerged as an area that studies the “dynamics of land use and land cover (LULC) to understand fundamental theories, problems, methodologies, and model applications” (Takada et al., 2010). According to Turner and colleagues (2007) “LCS” is a primary element of global environmental research for sustainable land use. The four fundamental objects of LCS are (1) monitoring the continuing land change on the surface of the earth, (2) considering the LULC changes as part of the human-environment systems, (3) modeling the spatiotemporal changes of land, and (4) the implications of policy and management outcomes for resilience, vulnerability, and sustainability of the land use (Rindfuss et al., 2004; Hirota et al., 2011).

LCS is a recently developing field of science that aims to understand the causes, shapes, rates, and consequences of changing lands (Ozdes, 2023a). As a research area focused on exploring human and environment interaction using geographic information systems (GIS), LCS utilizes remote sensing data and tools specially to comprehend the dynamics of LULC as a factor of human-environment system (Baker, 1989; Özdeş et al., 2019). The focus area of LCS can be defined as theoretical, conceptual, modeling and applications related to environmental and social issues using pragmatic approaches (Figure 1).

A well-established scientific assessment on land changes requires human-environment interaction and cause-effect relationship from a geographical perspective, as well as monitoring and recording the changes of land surface over a long-time period (Rindfuss et al., 2004). Billie Lee Turner II. as an American geographer and human-environmental scientist is widely recognized as the pioneering geographer who introduced the term “Land Change Science” in scientific literature (Turner, 2002). Therefore, it would be appropriate to acknowledge Turner as one of the key figures in the development of Land Change Science, often referred to as its founding father (Figure 2). Turner and colleagues (2007) point to the followings as the most crucial contemporary research questions in the LCS field: (1) What changes are occurring in the terrain and what are their spatiotemporal applications? (2) What are the effects of such changes on the land for the environment and people, and how can the two be linked? (3) How can we integrate the perception of human-environmental system into a theory of land change systems and what are their implications? (Turner and Robbins, 2008; Lambin et al., 2001).

In LULC studies, particularly in studies involving time series analysis, remote sensing technology and the existing observational capability from airborne and space-based sensors, have a promising future. Nevertheless, it is essential to acknowledge that despite the progress made, several limitations in the field have yet to be addressed (Southworth & Muir, 2021; Southworth et al., 2016). As a result, substantial ongoing efforts are being devoted to further advancements in this domain.

Agricultural land is unquestionably one of the research areas where remote sensing and GIS techniques are most common-

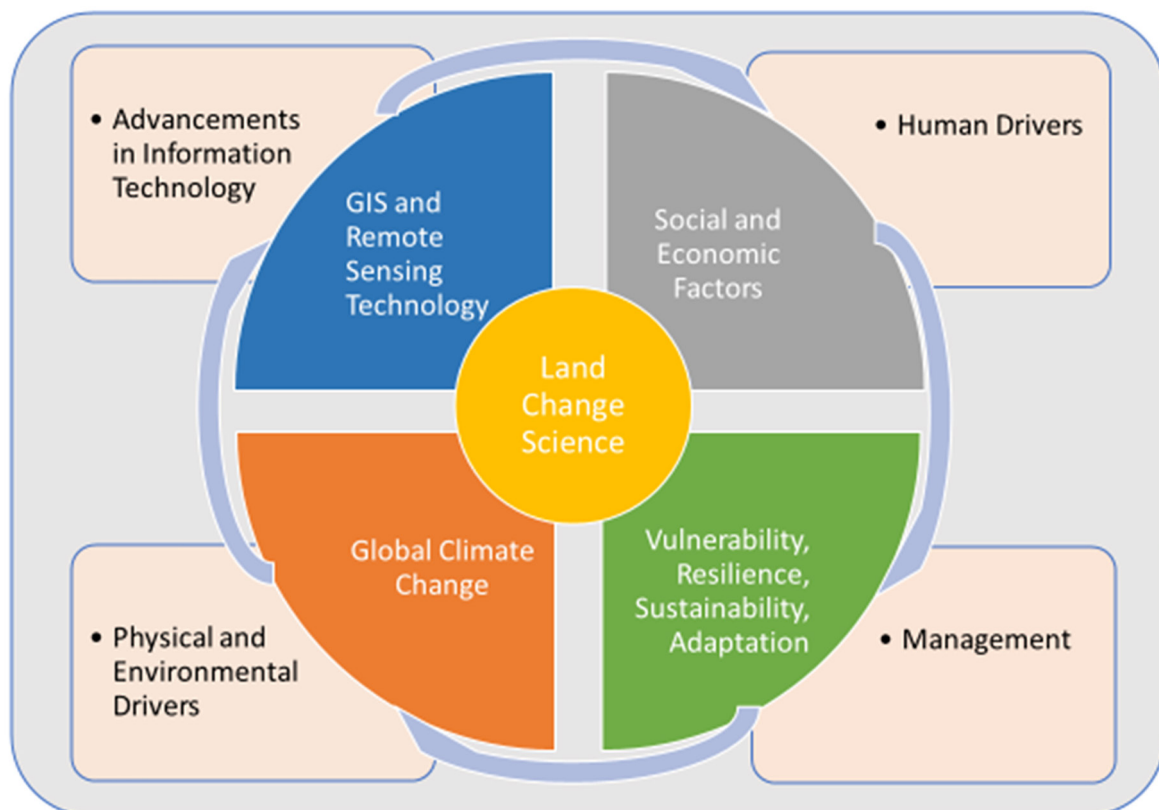


Figure 1. Conceptual model of Land Change Science surrounding by environmental and socio-economic factors.

ly used (Ozsahin et al., 2022a). The physical characteristics of agricultural lands determine the productivity and thus the capacity to meet human needs (Ozsahin & Ozdes, 2022a). Proper land use is one of the most important factors in achieving optimum agricultural productivity while ensuring the sustainability of ecosystems as well (Ozsahin et al., 2022c). Sustainable use of land resources is required due to geographic patterns of biophysical limits, the possibility for growing crops on specific types of land, and future implications of climate change (Özsahin et al., 2019; Ozsahin & Ozdes, 2022b). Therefore, the evaluation of land suitability in agricultural land should be considered as one of the most important applications of remote sensing and GIS.

Land change science faces challenges in integrating data, methods, and analyses due to technological and socio-cultural differences. Scaling issues arise when considering the dynamic interplay of time, space and human factors. Standardizing the scale or resolution used in data analysis is critical for consistency and reliability (Rindfuss et al., 2004). Dynamic factors in scaling include changes in land parcels, property rights, leasing, and zoning. Furthermore, land use complexity arises from the diverse utilization of the same land over time, as well as the concurrent occurrence of multiple uses (Brown et al., 2000). Mismatched boundaries between remote sensing data and land parcels are also a challenge. Excluding inaccessible or data-poor areas can lead to biased results (Rounsevell et al., 2012). Although high-resolution satellite imagery is helpful in detecting land cover classes, it has limitations in terms of interpretation errors, incompleteness, and obsolescence. Remotely sensed data allow for pixel-based inspection and classification, allowing for remote land measurements. However, the parcel-pixel relationship is uncertain in local socio-cultural studies and poses even more challenges (Brown et al., 2000). On the other hand, there is limited research in land change science to determine the most effective methods to overcome these challenges.

The sustainable management of savanna ecosystems is essential for the well-being of both humans and the environment.

However, savanna ecosystems are under threat from a variety of factors, including climate change, land degradation, and overexploitation of lands. Further research, monitoring, and protection of savanna ecosystems is urgently needed to ensure their long-term sustainability.

The present review aims to detail the main principles guiding new concepts of likely drivers of LULC change in savanna systems in Sub-Saharan Africa and help respond to important questions in the LCS field in regard to remote sensing research. It is well known that land cover in savanna ecosystems is vulnerable to changes (van Wilgen & Biggs, 2011). Previous studies have shown that land cover compositions in savanna ecosystems have changed drastically in recent decades due to changes in protected area management policies, climate change, and other anthropogenic factors (van't Veen et al., 2021; Ozsahin et al., 2022b; Ozdes, 2023a). Additionally, the decision-makers, impact of tourism, changes in the population of large carnivores, fire policies, and co-management policies of settlers may mirror issues in numerous savanna locations in the Sub-Saharan Africa (Southworth & Muir, 2021). To improve adaptive management and the sustainability of protected areas, it is essential to understand the relationship between LULC and environmental parameters in savanna ecosystems (van Wilgen et al., 2008; Armitage et al., 2009). Therefore, the present review could potentially provide guidance for further research in savanna ecosystems.

The present review provides a comprehensive overview of the current state of knowledge and research on savanna land change from Sub-Saharan Africa and other regions and perspectives. The review is organized into the following sections: (1) Introduction, (2) current state of land change science research in African savanna ecosystems, (3) savanna ecosystems (4) shrub encroachment in savanna ecosystems (5) remote sensing of savannas (6) parks and protected areas in sub-saharan Africa (7) land change in and around protected areas (8) conclusions, implications, and future directions of land change science in savanna ecosystems.

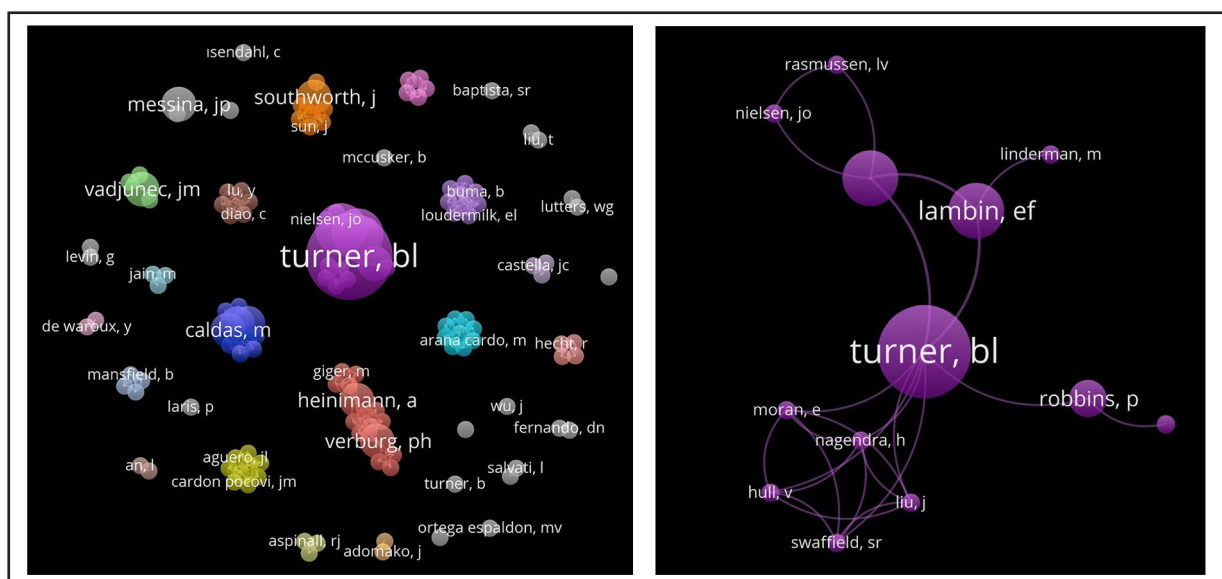


Figure 2. The Concept of Land Change Science (left), proposed by Turner and his colleagues in his network (right), is visually represented using the Land Change Science terminology from the Web of Science literature. The image was created with WOSViewer.

2. Savanna Ecosystems

A savanna ecosystem is defined as an ecosystem characterized by the presence of grasses and sparsely distributed trees, in which diverse communities of organisms interact to form a complex and interconnected food web. Typically, two main land cover types that considered as savanna systems are grassland and the tree cover (Sankaran et al., 2005). However, most researchers divide woody cover up to three subcategories, such as shrubs, brush, and trees (Venter, 1992; Wessels et al., 2011; Kiker et al., 2014). On the other hand, savanna ecosystems are naturally unstable combinations, rather than a balanced combination of trees and grasslands, because of disturbances such as grazing, fire, and fluctuations in precipitation over time (Scholes & Walker, 1993).

The savanna ecosystem, while recognized for its resilience, exhibits a higher susceptibility to changes compared to other ecosystems due to the intricate complexity and structure of its vegetation (Campo-Bescós et al., 2013). Consequently, the layers of vegetation frequently undergo replacement. However, the vulnerability of savanna vegetation is intimately intertwined with climate, herbivores, and wildfires. Any modifications within these components of the biome can lead to significant alterations in the entire vegetation structure. Thus, considering the vulnerability of Sub-Saharan Africa's savannas to climate change, it is plausible to anticipate potential environmental impacts in the region's future (Biggs, 2003; Bucini et al., 2010; Wessels et al., 2011; Bunting et al., 2016).

Significant emphasis has been placed on investigating anthropogenic-induced modifications in global land use patterns in recent decades. Particularly over the past thirty years, there has been a substantial focus on interdisciplinary and international research examining the impacts of human activities on land cover changes (DeFries et al., 2010; Wittemyer et al., 2008). However, comprehensively studying the intricate savanna ecosystem and the associated land cover transformations continues to pose challenges for scientists, extending beyond the limitations of remotely sensed data and data availability. This challenge is expected to persist in the future (Southworth et al., 2004).

Tree cover has a significant impact on the proper functioning of savanna ecosystems. These impacts can be found in different areas, including negative effects on productivity, evaporation rates, hydrology, nutrient cycles, and soil erosion. (Sankaran, et al., 2008). Research has been focused on computing the interactions between savanna structure and the environmental variables to identify their sensitivity to climate change related LULC. The relationship between the woody components and grassland in savanna biomes is of particular interest (Bucini et al., 2009). Previous studies have shown a strong positive dependency of plant growth on mean annual precipitation (MAP) between 200 and 700 mm per year (Gibbes et al., 2014). The threshold for MAP reliance was found to be insignificant when the effects of other observed predictors, such as fire, grazing, and logging, are considered (Sankaran et al., 2005). Studies in Sub-Saharan African savannas have explored the impact of key environmental factors on vegetation growth along physiographic gradients, including their role and mag-

nitude (Campo-Bescós et al., 2013; Hoell et al., 2015). These studies commonly utilize the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) as a measure of vegetation greenness because it has been established as a dependable biomass index in most savanna ecosystems (Wessels et al., 2006). However, due to variances in land use decisions and management practices, the dynamics of these components exhibit significant variability in savanna regions and are unpredictable in most cases (Fullman & Child, 2013; Fullman et al., 2017). Therefore, it is unclear what promotes tree-grass coexistence and exactly what criteria influence the relative proportions of the two forms of flora in different savanna regions (Bond, 2008; Bardgett, et al., 2021).

For decision-makers, it is essential to comprehend regional variations in natural processes and the effect of land use management on savanna structure. That is, managing landscapes and knowing how savanna biomes will be impacted by future changes in climate and anthropogenic land use depend on understanding the mechanisms that are causing changes in savanna vegetation structure and function. Studies have previously discussed the significance and potential vulnerability of savanna ecosystems in global carbon cycles. Bucini and Hanna (2007) indicated that controlled fire is essential for maintaining the equilibrium of grasslands-tree cover and for the long-term carbon equilibrium. The magnitude of studying this particular subject will be more acknowledged given that the African savanna ecosystem contributes significantly to atmospheric CO₂ emissions, largely through burning savannas (Sankaran et al., 2008; Smit & Asner, 2012).

In Sub-Saharan Africa, the savanna is a vital habitat for both human life and wildlife. It is essential to both the production and security of food around the world. Around 40% of the world's population resides in arid and semiarid regions, the majority of which are covered in savanna ecosystems (Sankaran et al., 2008; Cui et al., 2013). Savanna ecosystem is heavily utilized for agricultural activities in addition to its environmental and economic importance for natural habitat and wildlife. Recently, human pressure has increased through logging, grazing, and agricultural activities. Uncontrolled wildfires have increasingly affected the distribution and type of land cover and the loss of trees (Soulard et al., 2016). In some areas, increasing human pressure and decreasing rainfall have led to degradation of plant cover, and even desertification, loss of plant cover and shrub encroachment (Jacquin et al., 2010). Therefore, it is essential for policy makers and land managers to quantitatively evaluate the LULC of savanna change to help policy-makers more effectively manage these key systems that are currently experiencing significant change.

3. Current State of Land Change Science Research in African Savanna Ecosystems

In sub-Saharan Africa, the savanna ecosystem provides a vital habitat for both human and wildlife. The production of food on a worldwide scale and the security of food supply for both people and the local wildlife depend heavily on these semi-arid regions of the planet. Over 40% of the world's population lives in regions with savanna vegetation and other dry or semi-arid climates (Sankaran et al., 2008). These areas have economic value for both governments and individuals,

but they also have a variety of wildlife and natural habitat. On the other hand, recent human influences, such as overgrazing, agricultural operations, uncontrolled wildfires, and the manufacturing of charcoal, have, nevertheless, gradually altered how the land cover is distributed. This change is known as “woody cover loss”. Furthermore, it has led to a disruption in the endemic vegetation cover and an invasion of shrubs in the African savannas (Jacquin et al., 2010). To better understand the trajectory of land change and its effects, it is crucial for land managers, policy makers, and governments to accurately quantify the LULC changes in savanna ecosystems.

Protected areas in savanna ecosystems have various challenges. Research in Sub-Saharan Africa has shown that forest area has decreased significantly since the beginning of the 21st century, but under current conditions, it is highly likely that it will continue to decline over the next few decades (Potapov et al., 2022). It is hypothesized that one of the primary reasons for this decline is linked to the increase in elephant populations in some protected areas that previous researchers have showed (Fullman and Child, 2013). Fullman and Child (2013) indicated that although presence of elephants attracts more visitors, they have also become a major administration problem in some key protected areas such as the Kruger National Park (KNP) in recent years. However, in contrast to the KNP, forest areas have increased in the Limpopo National Park (LNP), which is located in Mozambique and adjacent to the KNP. The fact that this park is a relatively new compared to KNP, may also have affected the difference between the two. Likewise, the vegetation of Kafue National Park (KANP), which is located in Zambia, has been well preserved inside the park. However, the expanding human population in the area surrounding KANP has turned into a major issue for both the park’s administration and the Zambian government. As a result of rising human population and activities such as agriculture and settlement, a large amount of forest loss has taken place surrounding the park. It is most likely that these activities place extra stress on the flora and fauna of the protected areas. In general, it is crucial to consider the “whole picture” while planning such significant wildlife sanctuaries, considering both the protected area itself and the activities that take place around them. Otherwise, it would not be unexpected if protected areas turned into isolated eco-islands in the near future.

Studies in southern Africa have addressed the rates of deforestation caused by clearing for agricultural land and charcoal production (Geist, 1999; ZAWA, 2010; van’t Veen et al., 2021). Increased improper land use is another crucial issue harming wildlife and livelihoods in savanna environments. (DeFries et al., 2007, 2010; Watson et al., 2015; Wittemyer et al., 2008). However, there is a need for an integrated approach to human-environment interactions, such as national parks and their buffer zones for specific livelihoods in the savanna regions of Africa, to address the ‘edge effect’ of these interactions around protected areas. Edge effects can significantly impact on the natural ecosystem of livelihoods (DeFries et al., 2007; Hansen and DeFries, 2007; Joppa et al., 2009; DeFries et al., 2010; Mondal & Southworth, 2010).

The effective dimension of the ecosystem and the ecological flows play a significant role in savannah regions. Changes in LULC around livelihoods may overlook potential unique habi-

tats and have an irreversible effect on the source-sink subtleties of ecological environments (Hansen & DeFries, 2007). The administration of livelihoods focuses on ecosystem resilience and maintenance by using adaptive management techniques that support social and environmental interactions while encouraging the heterogeneity of vegetation cover and biodiversity (Olsson et al, 2007; Cheong et al., 2012). Therefore, it is important to explore the edge effects around protected areas and to better recognize the long-time consequences of LULC change. This is particularly important in regions where human settlements are the dominant driving force behind LULC changes. Most livelihoods in African savanna biome experience edge effects, but each livelihood experiences them differently, depends on several factors. For example, KNP is being destroyed by large herbivores such as elephants (Fullman and Child, 2013). KANP and LNP, on the other hand, seem to be lacking sufficient number of large animals. Thus, while forest area is generally decreasing in KNP, it is increasing in KANP and LNP. Additionally, shrub encroachment is a continuing problem in KNP, but a decreasing trend of shrubs is observed in KANP. LNP, on the other hand, does not show a decreasing trend, but the level of shrub is seen to be stable.

Research utilizing LCS has indicated that savanna ecosystems are subject to encroachment by human activities. Nevertheless, accurately quantifying the magnitude of this encroachment is often misrepresented due to various factors, including cloud cover in satellite imagery, areas affected by fire, and improper application of remote sensing techniques. Complex savanna landscapes are difficult to adequately describe using conventional classification algorithms. Additionally, savanna landscapes have frequently been incorrectly classified in large-scale studies (Hansen et al., 2013; Friedl et al., 2014), underestimating the level of human encroachment (Vinya et al., 2011), or under considered in governmental reports (ZAWA, 2010). However, recent advancements in research have employed machine-learning algorithms to classify the primary land covers within savanna ecosystem regions using medium-to high-resolution satellite data collected over extended time periods. These approaches have demonstrated improved accuracy in detecting land changes in Sub-Saharan Africa. To highlight the human impact within these vital savanna landscapes, the emergence of modern GIS technologies and remote sensing has enabled us to differentiate between natural areas and anthropogenic land use.

4. Shrub Encroachment in Savanna Ecosystems

In savanna ecosystems, the shrub encroachment has been observed to be a continual process. Increases in density, cover, and biomass of shrubs are referred to as “shrub encroachment” (Van Auken, 2009). The phrase “shrub encroachment” is synonym with a variety of other broad terms including “woody thickening,” “bush encroachment,” and “shrub invasion” (Eldridge et al., 2011). Walker and colleagues in the savanna biomes (Walker et al., 1981; Walker & Noy-Meir, 1982; & Westoby et al., 1989) later developed the idea after it was first introduced by Walter (1954).

Out of all areas of research in savanna lands one of the most well-researched occurrences is the shrub encroachment on savanna landscapes. The primary causes of shrub encroach-

ment can be linked to both anthropogenic and natural activities (Maestre & Cortina, 2005). However, in most cases the shrub encroachment is linked to human disturbances including overgrazing, fire, and other anthropogenic activities (Archer et al., 1995; Sankaran & Anderson, 2009). Shrub encroachment is a widespread experience in most of the arid and semi-arid regions of the world (Eldridge et al., 2011). Due to the combined effect of grazing and tree cutting, these types of changes in vegetation formation have increased since the beginning of the 20th century (Archer, 2009; Pacala et al., 2001; Knapp et al., 2008). Recent changes in the dynamics of the vegetation in sub-Saharan Africa are being caused by the increased dominance of shrub-like plants over grass and tall tree cover (Blaser et al., 2014). Shrub encroachment threatens 13 million hectares in sub-Saharan Africa, and the loss of savannah systems is thought to have an impact on more than two billion people globally (Adeel, 2008; Archer, 2009).

Multiple plants, including several *Acacia* species, are linked to be invasive in the savannah environments of southern Africa: twisted *Acacia* (*Vachellia tortilis*), blue thorn (*Senegalia erubescens*), blackthorn (*Senegalia mellifera*), brendi bush (*Grewia flava*), sicklebush (*Dichrostachys cinerea*), silver terminalia (*Terminalia sericea*) and mopane (*Colophospermum mopane*) are some of them (Moleele et al., 2002). In sub-Saharan Africa, the presence of an upper limit on woody vegetation, along with increases in MAP, implies that shrub invasion is largely relies on the presence of water (Sankaran et al., 2005). In such case, even if all other factors remain unchanged, changes in rainfall could be more effective in increasing the process of shrub encroachment than grazing.

5. Advancements in Remote Sensing of Technology

Remote sensing has developed rapidly in the last 40 years in parallel with the development of space technology, computer, and information systems. Approximately four decades ago, the prospect of accurately mapping the extent of global forest coverage was a mere aspiration. However, today we possess the capability to collect and analyze comprehensive data on global forest gain and loss on a monthly basis. It is worth noting that the research and methodologies in this field are still in their nascent stages, necessitating substantial advancements and progress (Hansen et al., 2013). Remote sensing and GIS have made significant progress in recent years in a variety of technological fields, from methods to sensors. This has led to notable improvements in environmental and ecological monitoring (Hill et al., 2016). It has also enhanced the connectivity between geography, environmental science, ecology, and other related disciplines (Southworth & Gibbes, 2010). Additionally, the availability of free high-resolution and medium-resolution satellite images has made it possible to map and observe regions with a greater range of analysis than small-scale landscapes (Cho et al., 2012). Accessing the ecosystem information via remotely sensed data not only improved our observation abilities, but also created new opportunities for the social and environmental research areas.

Although there are many limitations yet, remote sensing is a promising technology in terms of the observation capability of ground, air, and space sensors (Southworth & Muir, 2021).

Therefore, it should be acknowledged that to strengthen the connections between remote sensing, LCS, studies of the economic and social fabric of human advancement should be taken into account in addition to ecological field investigations (Chambers et al., 2007; Pontius et al., 2004). As a result, over the past 40 years, remote sensing technology has advanced quickly, enabling precise and thorough mapping of the world's forests. Advancements in remote sensing technology has greatly enhanced our understanding of the environmental perspective and has generated new prospects for interdisciplinary research.

6. Parks and Protected Areas in Sub-Saharan Africa

KNP is among the most varied protected areas in the Sub-Saharan savanna regions in terms of flora and fauna. The park is located in the Lowveld region of the South African Republic but have borders with Mozambique in the east and Zimbabwe in the north. As a result, the area around the park's boundary is has a wide variety of economic policies and land use management strategies. Thus, there are various differences in terms of ecosystems, social structures, and cultural elements. Any substantial change in the LULC significantly impacts the social elements and natural environment of the local community, which is dependent on the natural resources, agricultural revenue, and tourists (Munyati & Ratshibvumo, 2010; Shikolokolo, 2010). Therefore, there are numerous reasons to consider and research the LULC change, including the expansion of the surrounding communities and the sustainability of the natural ecosystem.

Recently, studies have been conducted using current satellite images on different subjects. For example, a termite suitability study was recently carried out in KNP to better understand the relationship between plant cover distribution and termite habitat (Ozsahin et al., 2022b). Using a ten-year land cover change trajectory within the KNP, a long-term land cover change was previously carried out and provided a better understanding of plant cover change (Trollope et al., 1998). Another study that examined the spatio-temporal variation of the woodland, barren/built, burnt, grassland, shrubland, and water classes in both the KNP and surrounding landscape mosaic from 1989 to 2013 for a period of 24 years (Ozdes, 2017). This research was conducted on LULC change using Landsat images at different time points (Figure 3). The study also applied a combination of Cellular Automata and Markov Model to predict the spatio-temporal trajectory of the land cover change by focusing on the boundary between the Greater Limpopo Transboundary Park (GLTP) in Mozambique and the KNP and LNP. The main idea of assessing the land in a comprehensive perspective in this area is based on the opinion that the success rate is higher for an internationally large-scale protected area rather than focusing on smaller protected areas within a single country (Hansen & DeFries, 2007; GLTFCA, 2016). In other studies, Cellular Automata and Markov Models are combined to forecast the spatiotemporal course of future land cover change (Hsu et al., 2008; Kamusoko et al., 2009; Mondal & Southworth, 2010; Kumar et al., 2014; Hyandye & Martz, 2017). As a result, the studies confirm that contrasting the changes in land cover inside and outside the protected areas help understanding the factors causing land cover change.

According to Büscher (2010), the transboundary element has the potential to greatly improve the benefits that protected areas now offer to local populations. Conservationists are prompted to work on a bigger scale by transboundary protected area operations. Crossing political boundaries is important since these boundaries generally do not reflect natural systems and do not prioritize the protection of the overall ecosystems. Protected areas that have been combined under the GLTP concept into one sizable transboundary conservation area include the Gonarezhou National Park, Gonarezhou regions, the area between Kruger and Gonarezhou, the LNP, the KNP, the Malapati Safari Park, the Manjinji Pan Conservation Area, and the Makuleke region in Sub-Saharan Africa with a total area of about 100,000 km² (Lunstrum, 2010). This concept promises to have a positive influence on social, political, and ecological improvements. These changes range from the anticipated displacement of a few thousand people who already reside within the boundaries to numerous and wide-ranging improvements, such as the removal of any fences along international political borders and the restocking of some wild species. A prediction of LULC change will also aid in a better understanding of how local population relocation, which began in 1998, and these changes may or may not have an impact on vegetation cover change. Therefore, this project may be a way to rationalize and justify a rich transboundary park in terms of both wildlife and tourism opportunities.

7. Land Change in and Around Protected Areas

Among the various types of governance and management, one of the most classical ways to protect landscapes and maintain its sustainability is through the development and expansion of national parks and protected areas. As a general research statement, LULC changes in the surrounding area of protected areas have a major effect on protected areas themselves (Child et al., 2004; DeFries et al., 2007). In the last three decades, protection of landscapes as protected areas has gained particular attention regarding the land dynamics and nature of the protected areas boundaries as well as the surrounding landscapes. Beside human existence and social activities surrounding the protected areas, natural environment and wildlife significantly bounded to the protected areas. In addition, the human presence around protected areas has a direct

impact on the natural cycle of protected areas (Simasiku et al., 2008; Richardson et al., 2012). Therefore, research shows that the connection of protected areas with their environment is important; such that higher connectivity levels can help decrease possible habitat loss and balance the equilibrium in protected areas and the surrounding landscape (Shikolokolo, 2010; Lindsey et al., 2014).

The burden on protected areas is increased by human-dominated activities such as population expansion, agriculture, grazing, and other associated activities. The majority of these activities have the potential to directly impact both protected areas and their surroundings. Often simultaneous changes in plant type and structure come from changes in land use, such as those brought on by shrub encroachment (Sankaran, et al., 2008). The main causes of shrub encroachment are typically the disappearance of large trees and pastures because of increasing grazing, fires, and increase in shrub cover that is not very advantageous for wildlife. Although ongoing changes in land use continue to affect many parts of the world, they are particularly high in Sub-Saharan Africa. Studies conducted in the last three decades predict that this change will continue to affect protected areas and that these changes will cause more shrub encroachment (Venter et al., 2008). One of the major wildlife locations in sub-Saharan Africa, Kruger National Park (KNP), has seen a significant increase in shrub infestation over the past three decades (Dowsett, 1966; Eckhardt et al., 2000). Beyond wildlife problems in both protected areas and adjacent lands, activities in and around protected areas with high human populations have a critical role in the overall health of the PA ecosystem. (Hansen and DeFries, 2007).

KANP is located in the northern section of the typical savanna ecosystem in Zambia, and the buffer zone surrounding it, represents another important protected area in Sub-Saharan Africa (Ozdes, 2017). Surrounded by nine game management areas (GMAs) makes the importance of the area even greater in terms of socio-economic activities as well as environmental factors (Petit et al., 2001; Midlane, 2013; Rduch, 2016). The environment and vegetation cover in KANP were affected to different degrees during the 1964 Zambian independence war (Child, 2009). The Zambia Wildlife Authority (ZAWA) now permits locals to dwell in GMAs as part of its policy (ZAWA, 2010).

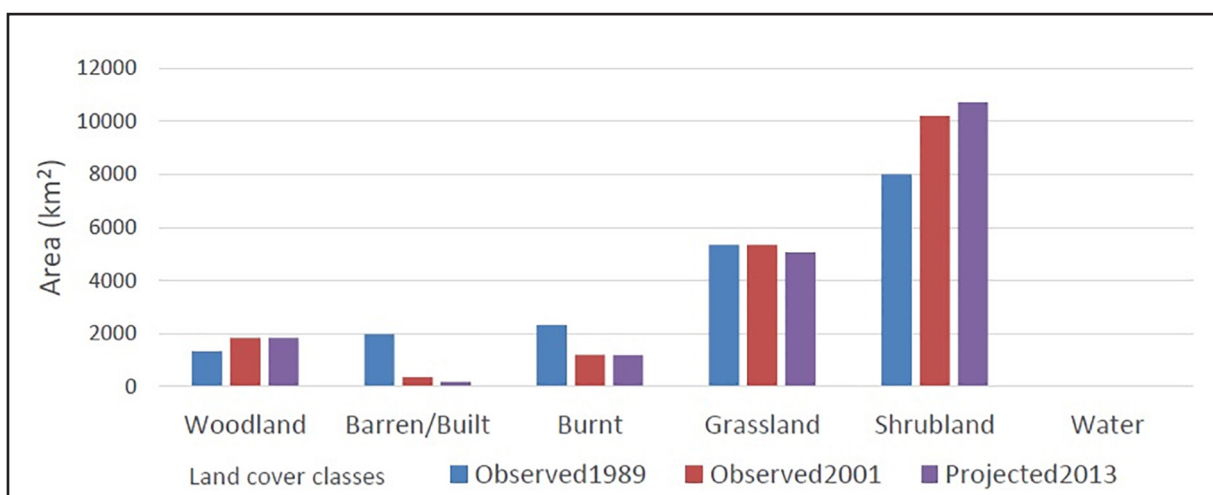


Figure 3. Land cover and land use change within Kruger National Park have been examined by analyzing Landsat images captured at multiple time points over a comprehensive period of 24 years (derived from Ozdes, 2017).

Recent study, however, raises the possibility that these settlements could endanger the flora and fauna of the protected area (Ozdes, 2017). As the largest and oldest national park in Zambia, KANP has an area of about 22,400 km² (Ellenbroek, 2012). In addition, it is regarded as one of Sub-Saharan Africa's parks with the most biologically diversified flora and animals. Within the park's boundaries, there have historically been human settlements and agricultural operations, but today these regions are off limits (Mwima, 2001). On the other hand, there has been a significant change in land cover around KANP in the last three decades (Figure 4). These changes are primarily due to rapid increase of the local population, which resulted in increased agricultural activities in the GMAs surrounding the park, as well as illegal activities such as settlements, poaching, and burning. Therefore, comparing land cover changes and additional GMAs in KANP has allowed for a better interpretation of recent changes.

KANP is one of the natural areas that have not been affected by excessive anthropogenic impairment in the ecosystem. Despite the presence of a considerable amount of wildlife in the park, the exact number of the fauna is still unknown. Additionally, there are several areas that need to be researched, including those involving soil structure, geological formations, and biological variety in addition to vegetation cover and habitat alterations (Mwima, 2001).

Recent studies have associated the LULC changes in KANP and its surroundings with settlement and agricultural changes that

have occurred in this region in the last three decades (Ozdes, 2023b). Studies are continuing to classify LULC more accurately in the area comprising of KANP and surrounding GMAs. A more detailed representation of the LULC is possible by combining field data randomly collected for vegetation cover type and structural classes with satellite remote sensing data, vegetation indices, and land cover classifiers like Random Forest. (Breiman, 2001; Prasad et al., 2006; Cutler et al., 2007; Strobl, 2010; Rodriguez-Galiano et al., 2012). Additionally, improvements in LULC change trajectory have made it easier to comprehend how the vegetation has changed over the past thirty years.

8. Conclusions, Implications, and Future Directions of Land Change Science in Savanna Ecosystems

The savanna ecosystem is known for its diversity and the support it provides for large animals and human populations. However, despite its ecological importance, it has been overlooked in terms of understanding its role in global environmental change and socioeconomics. Advancements in earth observation systems have not been effectively utilized in studying savanna systems, specifically in identifying main structural and operational attributes. The use of high-resolution and medium-resolution data to identify land-use and land-cover changes in savanna ecosystems presents significant challenges and limitations. Traditional remote sensing methods struggle to accurately identify the composition of trees, grass, and shrubs in the landscape. These limitations include a lack of

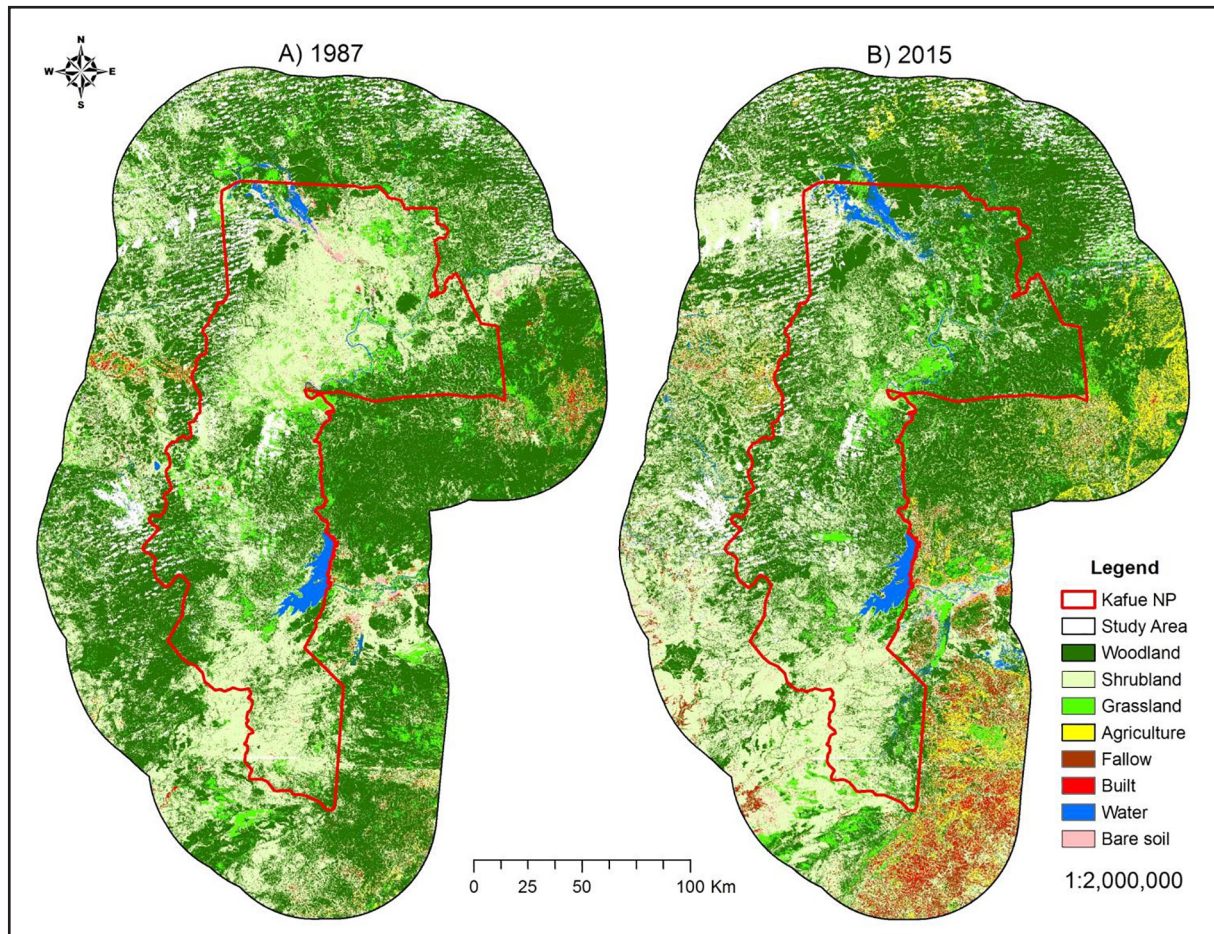


Figure 4. Land cover changes in and around Kafue National Park in the past three decades primarily result from population growth, increased agricultural activities in surrounding GMAs, and illicit practices like settlements, poaching, and burning (derived from Ozdes, 2017).

frequent imagery, cloud cover, errors in remote sensing data, and the need for extensive fieldwork to verify data.

Fortunately, new satellites orbiting in space (for example, Landsat 8 and 9, Sentinel-2) continuously collect low, medium, and high-resolution data around the world, and many of them are freely available for scientific research. In addition, more advanced methodologies such as machine learning and artificial intelligence (AI) enable better land classification studies in much larger areas (Ozdes, 2023b). In addition, research is currently directed towards forecasting potential modifications in the land cover of savanna ecosystems in the future. Assessing and predicting changes in LULC in sub-Saharan Africa is crucial in setting goals and determining the success of these transboundary regions, rather than focusing solely on smaller protected areas within individual countries. Additionally, using current data and prediction techniques to model the future landscapes of protected areas will identify potential challenges across these areas and provide insight into changes in neighboring regions.

LCS has become increasingly important in understanding the dynamics of savanna systems, particularly in remote sensing applications. Recent advancements in remote sensing technologies have enabled researchers to monitor land cover changes at large spatial scales and high temporal resolution. These improvements have led to increased accuracy when mapping landscapes over time for various purposes such as monitoring climate change, land degradation, and vegetation health.

The remote sensing technologies used in LCS are now being utilized to better understand the ecology of savanna systems, particularly those in sub-Saharan Africa. Researchers have been able to identify specific species-specific responses to climate change, land use changes, and seasonal variability. By monitoring the changes over time, it is possible to develop a better understanding of how savanna ecosystems respond to environmental change.

In addition, remote sensing data collected by LCS can be used to inform policy decisions that can help protect savanna systems from further degradation. By monitoring land cover changes over time, policymakers can make informed decisions about land-use planning and management strategies. This information can also be used to inform conservation efforts and identify areas of high ecological value that need protection.

The future of LCS in savanna systems is optimistic, as remote sensing technologies continue to improve and researchers can develop a better understanding of the dynamics of these ecosystems. As remote sensing technology advances so too will the ability to monitor changes in land cover over time and make informed decisions about conservation efforts. Moreover, remote sensing data can be used to develop predictive models that help anticipate future changes in savanna systems due to climate change or land use changes. This could be used to inform policy makers of potential management strategies and identify areas of high ecological value before they are degraded.

The remote sensing data collected by LCS will not only help inform policy decisions but also provide a valuable resource for

scientists looking to better understand savanna ecosystems. With remote sensing technology continuing to improve and new applications being explored, remote sensing has the potential to help protect savanna ecosystems from further degradation and ensure their long-term sustainability. The future research questions surrounding protected area management and sustainability using remote sensing technologies of savanna systems in sub-Saharan Africa are as follows:

1. How can remote sensing data be used to inform policy decisions for land use and conservation in savanna ecosystems?
2. How can remote sensing data be used to monitor land cover changes over time and develop predictive models of future changes in savanna systems?
3. How effective are remote sensing technologies at identifying areas of high ecological value that need protection?
4. What new remote sensing applications and techniques can be used to improve the accuracy and precision of remote sensing data in savanna ecosystems?
5. How can remote sensing technologies be used to help local communities and stakeholders better understand, monitor, and manage land use in savanna ecosystems?
6. What are the ethical implications of using remote sensing technologies for protected area management and sustainability in savanna systems?
7. How can remote sensing technology help bridge the gap between research and policy decisions in savanna ecosystems?
8. What new remote sensing technologies are being developed to better monitor savanna systems and inform conservation efforts?

By exploring these questions, researchers can gain a greater understanding of remote sensing technologies, their application in savanna systems, and their potential to help protect these ecosystems from further degradation.

Overall, LCS has the potential to be a powerful tool in monitoring, predicting, and managing savanna systems. The future of remote sensing technologies in these ecosystems is bright and can be used to help protect them from further degradation. With this information, policymakers can make informed decisions that benefit both the environment and local communities. If applied correctly, LCS has the potential to be one of the most valuable tools in savanna conservation.

Çıkar Çatışması/Conflict of Interest : The authors declare that there is no conflict of interest. *Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.*

Yazar katkısı/Authors contribution: The study concept and design were made by M. O. and J. S. Data were collected by M.O. and interpreted by M. O. and J. S. The first writing part

was made by M. O. and later read by M. O. and J. S., the last necessary corrections were made by M. O. and J. S. *Çalışma konsepti ve tasarımı M. O. ve J. S. tarafından yapılmıştır. M. O. tarafından veriler toplanmış ve yorumlaması yapılmıştır. İlk yazım kısmı M. O. tarafından yapıp daha sonradan J. S. tarafından da okunmuş, en son gerekli düzeltmeler M. O. ve J. S. tarafından yapılmıştır.*

References

- Adeel, Z. (2008). Findings of the Global Desertification Assessment by the Millennium Ecosystem Assessment – A Perspective for Better Managing Scientific Knowledge. In C. Lee & T. Schaaf (Eds.), *The Future of Drylands: International Scientific Conference on Desertification and Drylands Research Tunis, Tunisia, 19-21 June 2006* (pp. 677–685). Dordrecht: Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6970-3_57
- Archer, S. (2009). Rangeland Conservation and Shrub Encroachment: New Perspectives on an Old Problem. In *Wild Rangelands* (pp. 53–97). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781444317091.ch4>
- Archer, S., Schimel, D. S., & Holland, E. A. (1995). Mechanisms of shrubland expansion: land-use, climate, or CO₂? *Climatic Change*, 29(1), 91–99. <https://doi.org/10.1007/BF01091640>
- Armitage, D.R., Plummer, R., Berkes, F., Arthur, R.I., Charles, A.T., Davidson-Hunt, I.J., Diduck, A.P., Doubleday, N.C., Johnson, D.S., Marschke, M. and McConney, P., & Wollenberg, E. K. (2009). Adaptive co-management for social-ecological complexity. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 7(2), 95-102. <https://doi.org/10.1890/070089>
- Baker, W. L. (1989). A review of models of landscape change. *Landscape Ecology*, 2(2), 111–133. <https://doi.org/10.1007/BF00137155>
- Bardgett, R. D., Bullock, J. M., Lavorel, S., Manning, P., Schaffner, U., Ostle, N., & Shi, H. (2021). Combatting global grassland degradation. *Nature Reviews Earth & Environment*, 2(10), 720-735.
- Biggs, H. C. (2003). *The Kruger experience: ecology and management of savanna heterogeneity*. Island Press.
- Blaser, W. J., Shanungu, G. K., Edwards, P. J., & Olde Venterink, H. (2014). Woody encroachment reduces nutrient limitation and promotes soil carbon sequestration. *Ecology and Evolution*, 4(8), 1423–1438. <https://doi.org/10.1002/ece3.1024>
- Bond, W. J. (2008). *What Limits Trees in C4 Grasslands and Savannas?* 39, 641–659. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.39.110707.173411>
- Breiman, L. E. O. (2001). Random Forests. *Machine Learning*, (45), 5–32.
- Brown, D., Pijanowski, B., & Duh, J. (2000). Modeling the relationships between land use and land cover on private lands in the Upper Midwest, USA. *Journal of Environmental Management*, 59(4), 247–263. <https://doi.org/10.1006/jema.2000.0369>
- Bucini, G., & Hanan, N. P. (2007). A continental-scale analysis of tree cover in African savannas. *Global Ecology and Biogeography*, 16(5), 593–605. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2007.00325.x>
- Bucini, G., Hanan, N. P., Boone, R. B., Smit, I. P. J., Saatchi, S., Lefsky, M. A., & Asner, G. P. (2010). Woody fractional cover in Kruger National Park, South Africa: remote-sensing-based maps and ecological insights. *Ecosystem Function in Savannas: Measurement and Modelling at Landscape to Global Scales*, 219–237.
- Bucini, G., Saatchi, S., Hanan, N., Boone, R. B., & Smit, I. (2009). Woody Cover and Heterogeneity in the Savannas of the Kruger National Park, South Africa 1. Natural Resource Ecology Laboratory, Colorado State University, CO 80521 2. Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, Pasadena, CA 9110, 334–337.
- Bunting, E. L., Fullman, T., Kiker, G., & Southworth, J. (2016). Utilization of the SAVANNA model to analyze future patterns of vegetation cover in Kruger National Park under changing climate. *Ecological Modelling*, 342, 147–160. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2016.09.012>
- Büscher, B. (2010). Seeking ‘telos’ in the ‘Transfrontier’? Neoliberalism and the transcending of community conservation in Southern Africa. *Environment and Planning*, 42(3), 644–660.
- Campo-Bescós, A. M., Muñoz-Carpena, R., Southworth, J., Zhu, L., Waylen, R. P., & Bunting, E. (2013). Combined Spatial and Temporal Effects of Environmental Controls on Long-Term Monthly NDVI in the Southern Africa Savanna. *Remote Sensing*, 5(12). <https://doi.org/10.3390/rs5126513>
- Chambers, J. Q., Asner, G. P., Morton, D. C., Anderson, L. O., Saatchi, S. S., Espírito-Santo, F. D. B., Palace, M., & Souza, C. (2007). Regional ecosystem structure and function: ecological insights from remote sensing of tropical forests. *Trends in Ecology & Evolution*, 22(8), 414–23. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2007.05.001>
- Cheong, S.-M., Brown, D. G., Kok, K., & Lopez-Carr, D. (2012). Mixed methods in land change research: towards integration. *Transactions of the Institute of British Geographers*, 37(1), 8–12. <https://doi.org/10.1111/j.1475-5661.2011.00482.x>
- Child, B. (2009). The emergence of parks and conservation narratives in southern Africa. In *Evolution and innovation in wildlife conservation* (pp. 19–34). Parks and game ranches to Transfrontier conservation areas.
- Child, B., Castley, G., Knight, M., Gordon, J., Daitz, D., Johnson, S., Boonzaaier, W., Collinson, R., Davies, R., Grossman, D. & Holden, P. (2004). Innovations in park management. In *Parks in Transition: Biodiversity, Rural Development, and the Bottom Line* (pp. 165–88).
- Cho, M.A., Mathieu, R., Asner, G.P., Naidoo, L., Van Aardt, J.A.N., Ramoelo, A., Debba, P., Wessels, K., Main, R., Smit, I.P., & Erasmus, B. (2012). Mapping tree species composition in South African savannas using an integrated airborne spectral and LiDAR system. *Remote Sensing of Environment*, 125, 214–226. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.07.010>
- Cui, X., Gibbes, C., Southworth, J., & Waylen, P. (2013). Using Remote Sensing to Quantify Vegetation Change and Ecological Resilience in a Semi-Arid System. *Land*, 2(2). <https://doi.org/10.3390/land2020108>
- Cutler, D. R., Edwards, T. C., Beard, K. H., Cutler, A., Hess, K. T., Gibson, J., & Lawler, J. J. (2007). Random forests for classification in ecology. *Ecology*, 88(11), 2783–92.

- DeFries, R., Hansen, A., Turner, B. L., Reid, R., & Liu, J. (2007). Land-use change around protected areas: management to balance human needs and ecological function. *Ecological Applications: A Publication of the Ecological Society of America*, 17(4), 1031–8.
- DeFries, R., Karanth, K. K., & Pareeth, S. (2010). Interactions between protected areas and their surroundings in human-dominated tropical landscapes. *Biological Conservation*, 143(12), 2870–2880. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2010.02.010>
- Dowsett, R. J. (1966). Wet Season Game Populations and Biomes in the Ngoma Area of the Kafue National Park. *Puku*, 4, 136–137.
- Eckhardt, H. C., van Wilgen, B. W., & Biggs, H. C. (2000). Trends in woody vegetation cover in the Kruger National Park, South Africa, between 1940 and 1998. *African Journal of Ecology*, 38(2), 108–115. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2028.2000.00217.x>
- Eldridge, D. J., Bowker, M. A., Maestre, F. T., Roger, E., Reynolds, J. F., & Whitford, W. G. (2011). Impacts of shrub encroachment on ecosystem structure and functioning: towards a global synthesis. *Ecology Letters*, 14(7), 709–722. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2011.01630.x>
- Friedl, M.A., Gray, J.M., Melaas, E.K., Richardson, A.D., Hufkens, K., Keenan, T.F., Bailey, A. & O’Keefe, J. (2014). A tale of two springs: using recent climate anomalies to characterize the sensitivity of temperate forest phenology to climate change. *Environmental Research Letters*, 9(5), 054006.
- Fullman, T. J., & Child, B. (2013). Water distribution at local and landscape scales affects tree utilization by elephants in Chobe National Park, Botswana. *African Journal of Ecology*, 51(2), 235–243. <https://doi.org/10.1111/aje.12026>
- Fullman, T. J., Bunting, E. L., Kiker, G. A., & Southworth, J. (2017). Predicting shifts in large herbivore distributions under climate change and management using a spatially explicit ecosystem model. *Ecological Modelling*, 352, 1–18. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2017.02.030>
- Geist, H. J. (1999). Global assessment of deforestation related to tobacco farming. *Tobacco Control*, 8(1), 18. <https://doi.org/10.1136/tc.8.1.18>
- Gibbes, C., Southworth, J., Waylen, P., & Child, B. (2014). Climate variability as a dominant driver of post-disturbance savanna dynamics. *Applied Geography*, 53, 389–401. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2014.06.024>
- GLTFCA. (2016). Great Limpopo Transfrontier Conservation Area: Integrated livelihoods diversification strategy, 2016–2030.
- Goudie, A. S. (2018). *Human impact on the natural environment*. Ed. 8. John Wiley & Sons.
- Hansen, & DeFries, R. (2007). Ecological Mechanisms Linking Protected Areas to the Surrounding Lands. *Ecological Applications*, 17(4), 974–988.
- Hansen, M.C., Potapov, P.V., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S.A., Tyukavina, A., Thau, D., Stehman, S.V., Goetz, S.J., Loveland, T.R. and Kommareddy, A., ... & Townshend, J. R. G. (2013). High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. *Science (New York, N.Y.)*, 342(6160), 850–3. <https://doi.org/10.1126/science.1244693>
- Hill, M.J., Zhou, Q., Sun, Q., Schaaf, C.B., Southworth, J., Mishra, N.B., Gibbes, C., Bunting, E., Christiansen, T.B. & Crews, K.A. (2016). Dynamics of the relationship between NDVI and SWIR32 vegetation indices in southern Africa: implications for retrieval of fractional cover from MODIS data. *International Journal of Remote Sensing*, 37(6), 1476–1503. <https://doi.org/10.1080/01431161.2016.1154225>
- Hirota, M., Holmgren, M., Van Nes, E. H., & Scheffer, M. (2011). Global Resilience of Tropical Forest and Savanna to Critical Transitions. *Science*, 334(6053), 232. <https://doi.org/10.1126/science.1210657>
- Hoell, A., Funk, C., Magadzire, T., Zinke, J., & Husak, G. (2015). El Niño–Southern Oscillation diversity and Southern Africa teleconnections during Austral Summer. *Climate Dynamics*, 45(5), 1583–1599. <https://doi.org/10.1007/s00382-014-2414-z>
- Hsu, D., Kakade, S. M., & Zhang, T. (2008). A Spectral Algorithm for Learning Hidden Markov Models. *CoRR*, abs/0811.4413. Retrieved from <http://arxiv.org/abs/0811.4413>
- Hyandye, C., & Martz, L. W. (2017). A Markovian and Cellular Automata Land-use Change Predictive Model of the Usangu Catchment. *Int. J. Remote Sens.*, 38(1), 64–81. <https://doi.org/10.1080/01431161.2016.1259675>
- Jacquin, A., Sheeren, D., & Lacombe, J. P. (2010). Vegetation cover degradation assessment in Madagascar savanna based on trend analysis of MODIS NDVI time series. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 12, S3–S10.
- Joppa, L. N., Loarie, S. R., & Pimm, S. L. (2009). On Population Growth Near Protected Areas. *PLoS ONE*, 4(1), e4279. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0004279>
- Kamusoko, C., Aniya, M., Adi, B., & Manjoro, M. (2009). Rural sustainability under threat in Zimbabwe – Simulation of future land-use/cover changes in the Bindura district based on the Markov-cellular automata model. *Applied Geography*, 29(3), 435–447. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2008.10.002>
- Kiker, G., Scholtz, R., Smith, I., & Venter, F. J. (2014). Exploring an extensive dataset to establish woody vegetation cover and composition in Kruger National Park for the late 1980s. *Koedoe*, 56(1), 10. <https://doi.org/10.4102/koedoe.v56i1.1200>
- Knapp, A.K., Briggs, J.M., Collins, S.L., Archer, S.R., BRET-HARTE, M.S., Ewers, B.E., Peters, D.P., Young, D.R., Shaver, G.R., Pendall, E. & Cleary, M.B. (2008). Shrub encroachment in North American grasslands: shifts in growth form dominance rapidly alters control of ecosystem carbon inputs. *Global Change Biology*, 14(3), 615–623. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2007.01512.x>
- Kumar, S., Radhakrishnan, N., & Mathew, S. (2014). Land-use change modelling using a Markov model and remote sensing. *Geomatics, Natural Hazards, and Risk*, 5(2), 145–156. <https://doi.org/10.1080/19475705.2013.795502>
- Lambin, E.F., Turner, B.L., Geist, H.J., Angbala, S.B., Angelsen, A., Bruce, J.W., Coomes, O.T., Dirzo, R., Fischer, G., Folke, C. & George, P. (2001). The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Global environmental change*, 11(4), 261–269. Ellenbroek, G. A. (2012). Ecology and productivity of an African wetland system: the Kafue Flats, Zambia (Vol. 9). Springer Science & Business Media.

- Lindsey, P.A., Nyirenda, V.R., Barnes, J.I., Becker, M.S., McRobb, R., Tambling, C.J., Taylor, W.A., Watson, F.G. & t'Sas-Rolfes, M. (2014). Underperformance of African Protected Area Networks and the Case for New Conservation Models: Insights from Zambia. *PLoS ONE*, 9(5), e94109. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0094109>
- Lunstrum, E. (2010). Reconstructing history, grounding claims to space history, memory, and displacement in the Great Limpopo Transfrontier Park. *South African Geographical Journal*, 92(2), 129–143.
- Maestre, F. T., & Cortina, J. (2005). Remnant shrubs in Mediterranean semi-arid steppes: effects of shrub size, abiotic factors and species identity on understorey richness and occurrence. *Acta Oecologica*, 27(3), 161–169. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2004.11.003>
- Midlane, N. (2013). *The conservation status and dynamics of a protected African lion Panthera leo population in Kafue National Park, Zambia*. University of Cape Town, South Africa.
- Moleele, N. M., Ringrose, S., Matheson, W., & Vanderpost, C. (2002). More woody plants? the status of bush encroachment in Botswana's grazing areas. *Journal of Environmental Management*, 64(1), 3–11. <https://doi.org/10.1006/jema.2001.0486>
- Mondal, P., & Southworth, J. (2010). Protection vs. commercial management: Spatial and temporal analysis of land-cover changes in the tropical forests of Central India. *Forest Ecology and Management*, 259(5), 1009–1017. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.12.007>
- Munyati, C., & Ratshibvumo, T. (2010). Differentiating geological fertility derived vegetation zones in Kruger National Park, South Africa, using Landsat and MODIS imagery. *Journal for Nature Conservation*, 18(3), 169–179. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2009.08.001>
- Mwima, H. K. (2001). A Brief History of Kafue National Park, Zambia." *Koedoe* 44.1 (2001): 57-72. *Koedoe*, 44(1), 57–72.
- Olsson, P., Folke, C., Galaz, V., Hahn, T., & Schultz, L. (2007). Enhancing the fit through adaptive co-management: creating and maintaining bridging functions for matching scales in the Kristianstads Vattenrike Biosphere Reserve, Sweden. *Ecology and Society*, 12(1).
- Ozdes, M. (2017). Savanna Vegetation Change in Protected Areas of Southern Africa, (Dissertation). *University of Florida*. <http://www.secheresse.info/spip.php?article115233>
- Ozdes, M. (2023a). Küresel İklim Değişikliği ve Çevresel Değişimlerin Etkisi Altında Arazi Değişim Biliminin Ortaya Çıkışı: Kurak ve Yarı Kurak Ekosistemlerde Arazi Değişimi. DOI: [10.13140/RG.2.2.16175.30887](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.16175.30887)
- Ozdes, M. (2023b). The Good, the Bad and the Ugly side of Artificial Intelligence: Assessing the Potential, Capabilities, Limitations, and Ethical Concerns for the use of AI in Land Change Science. (Preprint). DOI: [10.13140/RG.2.2.28923.69926](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.28923.69926)
- Özdeş, M., Özşahin, E., & Eroğlu, E. (2019). Corine arazi sınıflandırmasına göre Trakya Yarımadası arazi örtüsü/kullanımı özelliklerinin yeniden değerlendirilmesi. *İstanbul Uluslararası Coğrafya Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 679, 686. DOI: [10.26650/PB/PS12.2019.002.066](https://doi.org/10.26650/PB/PS12.2019.002.066)
- Ozşahin, E., & Ozdes, M. (2022a). Determining the impact of climate change on land suitability for rice paddy cultivation using GIS and RS on FAO maximum limitation approach. *Theoretical and Applied Climatology*, 1-16. <https://doi.org/10.1007/s00704-022-04033-4>
- Ozşahin, E., & Ozdes, M. (2022b). Agricultural land suitability assessment for agricultural productivity based on GIS modeling and multi-criteria decision analysis: the case of Tekirdağ province. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194(1), 1-19. <https://doi.org/10.1007/s10661-021-09663-1>
- Ozşahin, E., Alturk, B., Ozdes, M., Sari, H., & Eroglu, I. (2022a). GIS-based spatial prediction of poor-drainage areas using frequency ratio: a case study of Tekirdag Province, Turkey. *Applied Geomatics*, 14(2), 369-386. DOI: [10.1007/s12518-022-00439-x](https://doi.org/10.1007/s12518-022-00439-x)
- Ozşahin, E., Ozdes, M., Smith, A. C., & Yang, D. (2022c). Remote Sensing and GIS-Based Suitability Mapping of Termite Habitat in the African Savanna: A Case Study of the Lowveld in Kruger National Park. *Land*, 11(6), 803. <https://doi.org/10.3390/land11060803>
- Ozşahin, E., Sari, H., Ozdes, M., Eroglu, I., & Yuksel, O. (2022b). Determination of suitable lands for rice cultivation in Edirne plain: GIS supported FAO limitation method. *Paddy and Water Environment*, 1-14. <https://doi.org/10.1007/s10333-022-00895-6>
- Özşahin, E., Özdeş, M., Eroğlu İ. (2019) TR21 Trakya Bölgesi'nde İklim Değişikliğinin Ekonomik Sektörler Üzerine Olası Etkileri. (Editörler) Konukçu F, Albut S, Altürk B. TR21 Trakya Bölgesinde İklim Değişikliğinin Etkileri ve Uyum Stratejileri, 1. baskı. Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Yayınları, Tekirdağ, pp 169–177. https://www.iklimin.org/wp-content/uploads/2018/01/Bo%C3%88lu%CC%88m0_Giris%CC%A7.pdf
- Pacala, S.W., Hurtt, G.C., Baker, D., Peylin, P., Houghton, R.A., Birdsey, R.A., Heath, L., Sundquist, E.T., Stallard, R.F., Ciais, P. & Moorcroft, P. (2001). Consistent Land- and Atmosphere-Based U.S. Carbon Sink Estimates. *Science*, 292(5525), 23162320. <https://doi.org/10.1126/science.1057320>
- Petit, C., Scudder, T., & Lambin, E. (2001). Quantifying processes of land-cover change by remote sensing: Resettlement and rapid land-cover changes in south-eastern Zambia. *International Journal of Remote Sensing*, 22(17), 3435–3456. <https://doi.org/10.1080/01431160010006881>
- Pontius, R. G., Huffaker, D., & Denman, K. (2004). Useful techniques of validation for spatially explicit land-change models, 179, 445–461. 193. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2004.05.010>
- Potapov, P., Hansen, M.C., Pickens, A., Hernandez-Serna, A., Tyukavina, A., Turubanova, S., Zalles, V., Li, X., Khan, A., Stolle, F., Harris, N., Song, X-P., Baggett, A., Kommareddy, I., and Kommareddy, A. (2022). The Global 2000-2020 Land Cover and Land Use Change Dataset Derived From the Landsat Archive: *First Results*. *Frontiers in Remote Sensing*, 13, April 2022. <https://doi.org/10.3389/frsen.2022.856903>
- Prasad, A. M., Iverson, L. R., & Liaw, A. (2006). Newer Classification and Regression Tree Techniques: Bagging and Random Forests for Ecological Prediction. *Ecosystems*, 9(2), 181–199. <https://doi.org/10.1007/s10021-005-0054-1>
- Rdudh, V. (2016). Population characteristics and coexistence of puku (*Kobus vardonii*) and impala (*Aepyceros melampus*) in and around Kafue National Park, Zambia. *Mammalian Biology-Zeitschrift Für Säugetierkunde*, 81(4), 350–360.

- Richardson, R. B., Fernandez, A., Tschirley, D., & Tembo, G. (2012). Wildlife Conservation in Zambia: Impacts on Rural Household Welfare. *World Development*, 40(5), 1068–1081. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2011.09.019>
- Rindfuss, R. R., Walsh, S. J., Turner, B. L., Fox, J., & Mishra, V. (2004). Developing a science of land change: challenges and methodological issues. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101(39), 13976–81. <https://doi.org/10.1073/pnas.0401545101>
- Rodriguez-Galiano, V. F., Ghimire, B., Rogan, J., Chica-Olmo, M., & Rigol-Sanchez, J. P. (2012). An assessment of the effectiveness of a random forest classifier for land-cover classification. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 67, 93–104. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2011.11.002>
- Rounsevell, M. D., Pedrolí, B., Erb, K. H., Gramberger, M., Busck, A. G., Haberl, H., Metzger, M.J., Murray-Rust, D., Popp, A., Pérez-Soba, M., Reenberg, A., Vadineanu, A., Verburg, P. H., ... & Wolfslehner, B. (2012). Challenges for land system science. *Land use policy*, 29(4), 899–910. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2012.01.007>
- Sankaran, M., & Anderson, T. M. (2009). Management and restoration in African Savannas: Interactions and feedbacks & Kate Suding (eds). In *New Models for Ecosystem Dynamics and Restoration* (pp. 136–155). Island Press.
- Sankaran, M., Hanan, N.P., Scholes, R.J., Ratnam, J., Augustine, D.J., Cade, B.S., Gignoux, J., Higgins, S.I., Le Roux, X., Ludwig, F. and Ardo, J., Banyikwa, F., Bronn, A., Bucini, G., Caylor, K.K., Coughenour, M.B., Diouf, A., Ekaya, A., ... Zambatis, N. (2005). Determinants of woody cover in African savannas. *Nature*, 438(7069), 846–9. <https://doi.org/10.1038/nature04070>
- Sankaran, M., Ratnam, J., & Hanan, N. (2008). Woody cover in African savannas: the role of resources, fire, and herbivory. *Global Ecology and Biogeography*, 17(2), 236–245. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2007.00360.x>
- Scholes, R. J., & Walker, B. H. (1993). An African savanna: synthesis of the Nylsvley study. Cambridge University Press.
- Shikolokolo, H. P. (2010). An evaluation of the impact of Kruger National Park's development programme on the Hlanganani community in Limpopo (*Doctoral dissertation*).
- Simasiku, P., Simwanza, H., Tembo, G., Bandyopadhyaya, S., & Pavy, J. (2008). The impact of wildlife management policies on communities and conservation in game management areas in Zambia. *Natural Resources Consultative Forum*. 194
- Smit, I. P. J., & Asner, G. P. (2012). Roads increase woody cover under varying geological, rainfall and fire regimes in African savanna. *Journal of Arid Environments*, 80, 74–80. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2011.11.026>
- Soulard, C., M. Albano, C., Villarreal, M., & Walker, J. (2016). *Continuous 1985–2012 Landsat Monitoring to Assess Fire Effects on Meadows in Yosemite National Park, California* (Vol. 8). <https://doi.org/10.3390/rs8050371>
- Southworth, J., & Gibbes, C. (2010). Digital Remote Sensing within the Field of Land Change Science: Past, Present and Future Directions. *Geography Compass*, 4(12), 1695–1712. <https://doi.org/10.1111/j.1749-8198.2010.00401.x>
- Southworth, J., & Muir, C., (2021). Specialty Grand Challenge: Remote Sensing Time Series Analysis. *Frontiers in Remote Sensing*, 2. <https://doi.org/10.3389/frsen.2021.770431>
- Southworth, J., Munroe, D., & Nagendra, H. (2004). land-cover change and landscape fragmentation—comparing the utility of continuous and discrete analyses for a western Honduras region. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 101(2–3), 185–205. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2003.09.011>
- Southworth, J., Zhu, L., Bunting, E., Ryan, S. J., Herrero, H., Waylen, P. R., & Hill, M. J. (2016). Changes in vegetation persistence across global savanna landscapes, 1982–2010. *Journal of land-use Science*, 11(1), 7–32. <https://doi.org/10.1080/1747423X.2015.1071439>
- Strobl, C. (2010). An Introduction to Recursive Partitioning: Rational, Application, and Characteristics of Classification and Regression Trees, Bagging, and Random Forests. *Nih Public Access*, 14(4), 323–348. <https://doi.org/10.1037/a0016973>
- Takada, T., Miyamoto, A., and Hasegawa, S.F., (2010) Derivation of a yearly transition probability matrix for land-use dynamics and its applications, *Landscape Ecology*, 25, 561–572.
- Trollope, W. S. W., Trollope, L. A., Biggs, H. C., Pienaar, D., & Potgieter, A. L. F. (1998). Long-term changes in the woody vegetation of the Kruger National Park, with special reference to the effects of elephants and fire. *Koedoe; Vol 41, No 2* (1998). Retrieved from <http://koedoe.co.za/index.php/koedoe/article/view/255>
- Turner, B. L. (2002). Toward integrated land-change science: Advances in 1.5 decades of sustained international research on land-use and land-cover change. In *Challenges of a changing earth* (pp. 21–26). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Turner, B. L., & Robbins, P. (2008). Land-Change Science and Political Ecology: Similarities, Differences, and Implications for Sustainability Science. *Annual Review of Environment and Resources*, 33(1), 295–316. <https://doi.org/10.1146/annurev.environ.33.022207.104943.195>
- Turner, B. L., Lambin, E. F., & Renenber, A. (2007). The emergence of land change science for global environmental change and sustainability, 104(52), 20666–20671.
- Van Auken, O. W. (2009). Causes and consequences of woody plant encroachment into western North American grasslands. *Journal of Environmental Management*, 90(10), 2931–2942. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.04.023>
- van Wilgen, B. W., & Biggs, H. C. (2011). A critical assessment of adaptive ecosystem management in a large savanna protected area in South Africa. *Biological Conservation*, 144(4), 1179–1187. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2010.05.006>
- van Wilgen, B. W., Govender, N., & MacFadyen, S. (2008). An assessment of the implementation and outcomes of recent changes to fire management in the Kruger National Park. *Koedoe; Vol 50, No 1* (2008). Retrieved from <http://www.koedoe.co.za/index.php/koedoe/article/view/135>
- Van't Veen, H., Eppinga, M. B., Mwampamba, T. H., & Dos Santos, M. J. F. (2021). Long term impacts of transitions in charcoal production systems in tropical biomes. *Environmental Research Letters*, 16(3), 034009.

- Venter, F. J. (1992). A classification of land for management planning in the Kruger National Park (Doctoral dissertation, University of South Africa).
- Venter, F. J., Naiman, R. J., Biggs, H. C., & Pienaar, D. J. (2008). The Evolution of Conservation Management Philosophy: Science, Environmental Change and Social Adjustments in Kruger National Park. *Ecosystems*, 11(2), 173–192. <https://doi.org/10.1007/s10021-007-9116-x>
- Vinya, R., Syampungani, S., Kasumu, E. C., Monde, C., & Kasubika. (2011). Preliminary study on the drivers of deforestation & potential for REDD+ in Zambia. Lusaka, Zambia: A consultancy report prepared for Forestry Department and FAO under the national UN-REDD+ Programme Ministry of Lands & Natural Resources.
- Walker, B. H., & Noy-Meir, I. (1982). Aspects of the Stability and Resilience of Savanna Ecosystems. In B. J. Huntley & B. H. Walker (Eds.), *Ecology of Tropical Savannas* (pp. 556–590). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-68786-0_26
- Walker, B. H., Ludwig, D., Holling, C. S., & Peterman, R. M. (1981). Stability of Semi-Arid Savanna Grazing Systems. *Journal of Ecology*, 69(2), 473–498. <https://doi.org/10.2307/2259679>
- Walter, H., 1954. Die Verbuschung: eine Erscheinung der subtropischen Savannengebiete und ihre ökologische Ursachen. *Vegetatio* 5/6: 6–10.
- Watson, F. G. R., Becker, M. S., Milanzi, J., & Nyirenda, M. (2015). Human encroachment into protected area networks in Zambia: implications for large carnivore conservation. *Regional Environmental Change*, 15(2), 415–429. <https://doi.org/10.1007/s10113-014-0629-5> 196
- Wessels, K.J., Mathieu, R., Erasmus, B.F.N., Asner, G.P., Smit, I.P.J., Van Aardt, J.A.N., Main, R., Fisher, J., Marais, W., Kennedy-Bowdoin, T., & Knapp, D.E. (2011). Impact of communal land-use and conservation on woody vegetation structure in the Lowveld savannas of South Africa. *Forest Ecology and Management*, 261(1), 19–29. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.09.012>
- Wessels, K. J., Prince, S. D., Zambatis, N., MacFadyen, S., Frost, P. E., & Van Zyl, D. (2006). Relationship between herbaceous biomass and 1-km² Advanced Very High-Resolution Radiometer (AVHRR) NDVI in Kruger National Park, South Africa. *International Journal of Remote Sensing*, 27(5), 951–973. <https://doi.org/10.1080/01431160500169098>
- Westoby, M., Walker, B., & Noy-Meir, I. (1989). Opportunistic management for rangelands not at equilibrium. *Rangeland Ecology & Management/Journal of Range Management Archives*, 42(4), 266-274.
- Wittemyer, G., Elsen, P., Bean, W. T., Burton, A. C. O., & Brashares, J. S. (2008). Accelerated Human Population Growth at Protected Area Edges. *Science*, 321(5885), 123–126. <https://doi.org/10.1126/science.1158900>
- ZAWA. (2010). *Kafue National Park General Implementation Project* (2012-2016) (GMP) (p. 138).

TÜRK COĞRAFYA DERGİSİ

TURKISH GEOGRAPHICAL REVIEW

Sayı/Volume 82, Haziran/June 2023



İçindekiler / Contents

Editörden.....	1-6
<u>Araştırma Makaleleri/Research Articles</u>	
Zekeriya Konurhan, Melih Yücesan Muhammet Gül	An integrated Bayesian Best-Worst Method and GIS-based approach for offshore wind power plant site selection: A case study in North Aegean and Marmara Sea (Türkiye) <i>Açık deniz rüzgar enerjisi santrali saha seçimi için entegre bir Bayesian En İyi-En Kötü Yöntemi ve CBS tabanlı yaklaşım: Kuzey Ege ve Marmara Denizi'nde (Türkiye) bir vaka çalışması.</i>7-22
Zeki Bora Ön	Dates of Holocene environmental changes in Lake Bafa: A hierarchical Bayesian analysis of change points <i>Holosen'de Bafa Gölü'ndeki ortamsal değişikliklerin tarihleri: Hiyerarşik Bayes değişim noktası analizi.</i>23-36
Çağan Alevkayalı, Yıldırım Atayeter Önur Yayla, Tuğçe Bilgin, Hasan Akpınar	Burdur Gölü'nde uzun dönemli kıyı çizgisi değişimleri ve iklim ilişkisi: Zamansal-mekânsal eğilimler ve tahminler <i>Long-term coastline changes and climate relationship in Burdur Lake: Spatio-temporal trends and forecasts.</i>37-50
Büşra Kırıcı, Erkan Yılmaz	Türkiye'de belirlenen istasyon çiftlerinde yağış-yükselti ilişkisi <i>The precipitation-elevation relationship in identified station pairs in Turkey.</i>51-62
<u>Derleme Makaleleri/ Review Articles</u>	
Mehmet Ozdes, Jane Southworth	Land Change Science: Understanding the complexity of monitoring protected areas in savanna ecosystems of Sub-Saharan Africa <i>Arazi Değişim Bilimi: Sahra Altı Afrika'daki savan ekosistemlerinde korunan alanları uzaktan algılama ile gözlemlenmenin zorluklarını anlamak.</i>63-76